



Universidade de Aveiro Departamento de Ambiente e Ordenamento
2009

Susana Patricia Ferreira da Costa **Análise dos Consumos Eléctricos do Processo Produtivo no Sector de Revestimentos Cerâmicos**



Universidade de Aveiro Departamento de Ambiente e Ordenamento
2009

**Susana Patricia Ferreira da Costa Análise dos Consumos Eléctricos do Processo
Produtivo no Sector de Revestimentos Cerâmicos**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Energia e Gestão Ambiental, realizada sob a orientação científica do Prof. Doutor António José Barbosa Samagaio, Professor Associado do Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro e do Prof. Doutor Victor Miguel Carneiro de Sousa Ferreira, Professor Associado do Departamento de Eng^a. Civil da Universidade de Aveiro

Dedico este trabalho aos meus queridos pais.

o júri

Presidente

Doutora Celeste de Oliveira Alves Coelho
professora catedrática da Universidade de Aveiro

Vogais

Prof. Doutor António José Barbosa Samagaio (Orientador)
professor associado do Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro

Prof. Doutor Victor Miguel Carneiro de Sousa Ferreira (Co-Orientador)
professor associado do Departamento de Eng^a. Civil da Universidade de Aveiro

Prof. Dr. Manuel Ribeiro
professor adjunto do Instituto Politécnico de Viana do Castelo

agradecimentos

Ao Ser Superior, que eu chamo DEUS, aos meus anjos da guarda, por me terem protegido e concedido a Força e Sabedoria.

Aos meus orientadores, Prof. Doutor António Samagaio e Prof. Doutor Victor Ferreira, por me mostrarem os caminhos a ser seguidos, não só através de preciosos comentários do trabalho realizado, mas também pela constante atenção e acompanhamento.

À minha família, em especial aos meus pais que me ensinaram desde cedo a conhecer a importância da “ Escolha” durante a VIDA.

À RECER, e a toda a sua amabilidade e espírito de inter-ajuda.

Ao Dr. Phelim Caffrey, pela sua compreensão e generosidade.

Ao Engº. Artur Serrano do CTCV (Unidade de Energia), pelo seu pronto auxílio em pesquisas e em outras actividades.

palavras-chave

Energia; eficiência energética; processo fabril; materiais de construção, cerâmica.

resumo

O principal objectivo do presente trabalho foi efectuar a análise dos consumos de energia eléctrica do processo produtivo de um dos subsectores da indústria cerâmica, através da aplicação de um *software* específico de gestão ambiental e de análise de fluxos de materiais e energia. O subsector-alvo foi o de revestimentos cerâmicos para a construção.

O objectivo do estudo era propor condições de melhoria a todo o sistema produtivo, através da realização de um estudo de caso comparativo de *layout* fabril antes e depois da ampliação a que uma empresa iria ser sujeita.

De forma a conseguir atingir o objectivo proposto, o trabalho efectuado envolveu várias fases principais. A primeira, a pesquisa bibliográfica e o enquadramento experimental, na qual se procurou realizar um levantamento de estudos já elaborados nesta área de optimização energética do sector cerâmico ou afins. Efectuou-se também um levantamento dos gastos energéticos com maior incidência em termos de ocorrência e de maior impacto, para o caso da produção dos revestimentos cerâmicos de construção. Nesta fase, procurou-se adquirir conhecimentos sobre os subsectores envolvidos no caso-de-estudo e sobre possíveis acções de optimização e de fácil integração na empresa.

A segunda fase envolveu a aplicação no estudo de caso de uma ferramenta específica, procurando analisar com o seu auxílio a melhor forma de optimizar o processo produtivo de revestimentos cerâmicos.

O caso em estudo envolvia duas fases ligadas a um projecto de ampliação da linha de produção dos revestimentos cerâmicos. Os resultados do estudo apontam para um aumento significativo do consumo geral de energia eléctrica na fase de pós-ampliação, por comparação com a fase de pré-ampliação, como também um aumento do consumo específico na fase de pós-ampliação. Verifica-se também que os sectores onde ocorre um maior consumo de energia eléctrica são a prensagem, secagem e a recepção de pó.

A utilização deste programa específico permitiu visualizar com alguma precisão as áreas críticas de consumo de energia eléctrica do processo produtivo de revestimentos cerâmicos, de forma a incidir primariamente sobre estas, e agir rapidamente, através de acções correctivas e preventivas.

keywords

Energy; Optimization; Process; Building materials

abstract

This study intended to analyze the consumption of electricity of the production process of one of the subsectors of the ceramics industry through the application of specific software for environmental management and analysis of flows of materials and energy. The target subsector was the ceramic tiles for building, one of the most successful in the framework of the national economy.

The aim of the study was able to propose improvements to the whole production system by carrying out a comparative assessment of manufacturing layout before and after the expansion planned by the company. In order to achieve this objective, the work involved several key stages. The first, a literature search and experimental framework, which searched studies already made in this area of optimizing the energy sector or related ceramic. It also conducted a survey of energy expenditure with higher incidence of occurrence and greater impact in the case of the production of ceramic tiles for construction. This stage is thought to acquire knowledge about the subsectors involved in the case study and possible action on optimization and easy integration into a company that has sought to implement the best technologies available.

The second phase involved the application of specific software (Umberto) in the case study, in order to find the best way to optimize the production process of ceramic tiles, using a phase-by-phase approach of the system and also an integrated manner.

The results of the case study show a significant increase in consumption of electricity in the post-expansion, compared with the pre-expansion, but also an increase in specific consumption in the post-expansion.

The sectors where it occur a higher consumption of electricity are pressing, drying and reception of spray-dried powder.

Using this software allowed a specific vision, with some precision, on the critical areas of electricity production process of ceramic tile manufacture, in order to focus primarily on them, and act quickly, through corrective and preventive actions.

Errata de Tese de Mestrado de Susana Patricia Ferreira da Costa
Análise dos Consumos Eléctricos do Processo Produtivo no Sector de
Revestimentos Cerâmicos

•**Página iv , composição do Júri :** substituído pelo seguinte,

Presidente

Doutora Celeste de Oliveira Alves Coelho
professora catedrática da Universidade de Aveiro

Vogais

Prof. Doutor António José Barbosa Samagaio (Orientador)
professor associado do Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro

Prof. Doutor Victor Miguel Carneiro de Sousa Ferreira (Co-Orientador)
professor associado do Departamento de Eng^a. Civil da Universidade de Aveiro

Prof. Dr. Manuel Ribeiro
professor adjunto do Instituto Politécnico de Viana do Castelo

•**Página 12 , 8^alinha :** onde se lê “estabelecimentos produtivos”, deve-se ler “unidades industriais”

•**Página 13 , 1^alinha :** onde se lê “O sector dos revestimentos sobre o qual incide o estudo-de-caso encontra-se enquadrado na cerâmica de construção, mais concretamente no acabamento”, deve-se ler “O sector de revestimentos que se encontra patente neste estudo-de-caso, encontra-se enquadrado segundo a visualização da Figura 1, na cerâmica de construção”

•**Página 16 , 25^alinha :** onde se lê “situada no exterior das instalações e onde são descarregados os camiões que transportam a matéria-prima”, deve-se ler “situada no exterior das instalações e onde são descarregados os camiões que transportam pó atomizado”

•**Página 18 , 17ªlinha** : onde se lê “Cozedura, onde o material contido nas vagonas é introduzido num forno, de acordo com uma programação realizada previamente” deve-se ler “Cozedura, onde o material existente nas vagonas é transportado por estas para a entrada do forno, de acordo com uma programação realizada previamente”

•**Página 55 , Tabela 5 (Entradas e Saídas)** : onde se lê “Entradas (ton)” e “Saídas (ton)” deve-se ler “Entradas (ton/ano)” e “Saídas (ton/ano)”

•**Página 57 , Tabela 8 (Descrição - Revestimento)** : onde se lê “Revestimento” deve-se ler “Revestimento (Produto Acabado)”

•**Página 59 , Tabela 10:** A última linha da tabela deverá ser substituída por:

Bombas Água	18,89	
GA 50 VSD	17,54	
Compressores GA 55	28,63	
Secador ar Comprimido	41,23	
ETAR	3,10	Eléctrica
Laboratório	5,50	
Oficina 1	2,15	
Oficina 2	7,85	
Iluminação Fabril Interior e Exterior	24,70	
Tomadas Eléctricas	56,35	

•**Página 71 , Figura 15** : onde se lê nos Aspectos Ambientais do processo de secagem “Poeiras, Ruído, Gasto Energético e Desperdício”, dever-se-á de ler “Poeiras, Ruído, Gasto Energético, Emissão de CO₂, Emissão de Água e Desperdício”

•**Página 73 , Figura 18** : onde se lê nos Aspectos Ambientais do processo da cozedura “Emissão de Gases, Gasto Energético e Resíduos/Desperdício”, dever-se-á de ler “Emissão de CO₂, Emissão de Água, Gasto Energético e Resíduos/Desperdício”

•**Página 77 , 5ªlinha (frase supra-referenciada à Tabela 13):** onde se lê “Na Tabela 13, apresenta-se um resumo de consumos de energia eléctrica, da unidade fabril nas fases de pré e pós-ampliação, sendo de salientar o facto de, tanto a prensagem como a secagem, os valores de consumos energéticos na fase de pré-ampliação e pós-ampliação serem os mesmos”, dever-se-á de ler “Na Tabela 13, apresenta-se um resumo de consumos de energia eléctrica, da unidade fabril nas fases de pré e pós-ampliação”

•**Página 79 , 24ªlinha:** onde se lê “Esta diferença de consumos específicos e consequente aumento na fase de ampliação advém do facto de que os motores/equipamentos instalados...”, dever-se-á de ler “Esta diferença de consumos específicos e consequente aumento na fase de ampliação pode advenir-se ao facto de que os motores/equipamentos instalados...”

•**Página 87 , 15ªlinha:** onde se lê “O aumento de consumo específico verificado na passagem da pré-ampliação para a fase de pós-ampliação adveio-se ao facto de ter ocorrido sobre-dimensionamento dos motores/máquinas...” dever-se-á de ler “O aumento de consumo específico verificado na passagem da pré-ampliação para a fase de pós-ampliação pode dever-se ao facto de ter ocorrido sobre-dimensionamento dos motores/máquinas...”

•**Página 88 , 13ªlinha:** onde se lê “ A única lacuna deste *software* é que se tem de possuir obrigatoriamente uma base de dados, para inferir resultados. De qualquer modo, para que se possam explorar todas as potencialidades do programa, será sempre necessária uma recolha exhaustiva de dados que o alimentem, de modo a que os resultados sejam realmente uma ferramenta que ajude a tomar as decisões certas, no que diz respeito à melhor utilização dos recursos energéticos à disposição das empresas. Caso contrário, o *software* UMBERTO torna-se pouco útil”, deverá de ser suprimida esta afirmação por completo.

Índice	Página
1. Introdução	5
2. A Indústria cerâmica em Portugal	
2.1. O sector dos revestimentos cerâmicos	11
2.2. Necessidades energéticas e fontes de energia usadas	19
2.3. Operações unitárias críticas	21
2.4. A cogeração no sector de revestimentos	23
3. Eficiência e optimização energéticas	
3.1. Conceitos fundamentais	29
3.2. Ferramentas de optimização energética	30
3.3. Aplicação do programa UMBERTO	39
4. Estudo de caso: Análise de consumos de energia de uma unidade fabril de produção de revestimentos cerâmicos	
4.1. Caracterização da unidade fabril alvo de estudo de caso	47
4.2. Procedimento experimental	57
4.3. Resultados da caracterização do processo produtivo	61
4.3.1. Análise de fluxos de materiais na unidade fabril alvo de estudo de caso	67
4.3.2. Análise de consumos de energia	69
4.4. Síntese de resultados obtidos e propostas de redução de consumos energéticos	80
5. Conclusões	87
Bibliografia	89

Lista de Figuras	Página
Figura 1. Sub-divisão da indústria cerâmica Portuguesa	13
Figura 2. Fluxograma de pavimentos e revestimentos cerâmicos	15
Figura 3. Exemplo de uma folha de um projecto	39
Figura 4. Exemplo de uma folha de cenários	40
Figura 5. Exemplo de uma folha de período	40
Figura 6. Exemplo de uma folha de hierarquia de materiais	41
Figura 7. Exemplo de uma folha de material	41
Figura 8. Exemplo de uma folha de comando <i>input/output</i>	42
Figura 9. Exemplo de uma folha de balanço total	42
Figura 10. Exemplo de uma folha de diagramas possíveis de seleccionar	43
Figura 11. Diagrama de <i>Sankey</i> (UMBERTO)	67
Figura 12. Fluxograma do processo de fabrico de recepção do pó	69
Figura 13. Fluxograma do processo de fabrico de ensilagem	69
Figura 14. Fluxograma do processo de fabrico de prensagem	70
Figura 15. Fluxograma do processo de fabrico de secagem	71
Figura 16. Fluxograma do processo de fabrico de linhas de vidragem	72
Figura 17. Fluxograma do processo de transporte de vagonas (1)	72
Figura 18. Fluxograma do processo de fabrico de cozedura	73
Figura 19. Fluxograma do processo de transporte de vagonas (2)	74
Figura 20. Fluxograma do processo de fabrico de escolha	74
Figura 21. Fluxograma do processo de fabrico de embalagem	75
Figura 22. Fluxograma do processo de fabrico de armazenamento	76
Figura 23. Gráfico UMBERTO de consumo de energia por processo cerâmico (pré-ampliação)	78
Figura 24. Gráfico UMBERTO de consumo de energia por processo cerâmico (pós-ampliação)	78

Lista de Tabelas	Página
Tabela 1. Formatos produzidos	47
Tabela 2. Evolução da produção	51
Tabela 3. Lista de equipamento produtivo principal	52
Tabela 4. Gama de produtos fabricados (pós-ampliação)	55
Tabela 5. Matérias-primas e produtos fabricados (2005)	55
Tabela 6. Outros materiais – Balanço mássico	56
Tabela 7. Consumo de recursos (água e energia) – Balanço mássico	56
Tabela 8. Consumo de recursos (água e energia) – Balanço mássico resumo	57
Tabela 9. Consumo de energia por sectores (pré-ampliação)	58
Tabela 10. Consumo de energia por sectores (pós-ampliação)	59
Tabela 11. Consumo de energia, potência instalada e forma de energia utilizada por sectores (pré-ampliação)	64
Tabela 12. Consumo de energia, potência instalada e forma de energia utilizada por sectores (pós-ampliação)	65
Tabela 13. Tabela resumo de consumos energéticos na unidade fabril nas fases de pré- e pós-ampliação	77

Capítulo 1

Introdução

O presente trabalho assenta num estudo de análise de consumos de energia eléctrica do processo produtivo de revestimentos cerâmicos. Pretendeu-se avaliar na referida linha de processamento as secções com maior consumo de energia e às quais podem ser implementadas acções correctivas ou melhorias, de forma a reduzir a factura energética.

A estrutura deste trabalho divide-se em três partes principais. Em primeiro lugar, é realizada uma apresentação sumária e sucinta da indústria cerâmica em Portugal. Nesta primeira fase, é apresentado o sector dos revestimentos cerâmicos, as necessidades energéticas e fontes de energia utilizadas, as operações unitárias críticas e a cogeração. Numa segunda fase do trabalho, aprofundam-se os conceitos de eficiência e optimização energéticas, incluindo uma explicação sucinta do funcionamento do *software* UMBERTO. Por último, aplica-se o *software* UMBERTO, analisando-se os fluxos de materiais e os consumos de energia na unidade fabril alvo de estudo-de-caso.

O estudo-de-caso teve por objectivo a linha de processamento de revestimentos cerâmicos antes e depois da ampliação da fábrica, que exigiu investimentos ao nível de maquinaria, formação e mão-de-obra, com o objectivo de solucionar o aumento da capacidade produtiva de forma eficaz e eficiente.

Os resultados obtidos permitem evidenciar pontos críticos que deverão ser alvo de medidas de eficiência do processo produtivo, de forma a reduzir custos associados aos elevados consumos energéticos inerentes a esses mesmos pontos críticos do sector cerâmico.

Capítulo 2

A indústria cerâmica em Portugal

2.1. O sector dos revestimentos

A cerâmica é uma actividade que ocupa os habitantes do território português desde o período do neolítico, sendo de salientar a existência de uma cultura situada no vale do Tejo que originou um tipo específico de cerâmica, a cerâmica campaniforme, que viria a espalhar-se por toda a Europa. Posteriormente, as ocupações romana e árabe desempenharam um papel fundamental no desenvolvimento da olaria. Na Idade Média, coexistia no território nacional uma grande variedade de tipos de cerâmica regional, alguns dos quais perduraram até aos nossos dias [Fonseca, 2000]. Nos séculos XVII e XVIII, verificou-se um grande desenvolvimento da cerâmica em Portugal. Este desenvolvimento deveu-se em parte à existência de ceramistas de vulto como Brioso e Vandelli e em parte à fundação da Fábrica do Rato, que esteve na base do aparecimento de outras fábricas importantes [Norton, 1978]. O século XIX e a Revolução Industrial trouxeram para Portugal a porcelana (Vista Alegre) e a faiança fina (Sacavém), bem como novos métodos industriais de fabrico. A indústria cerâmica portuguesa prosperou até às primeiras décadas do século XX, assistindo-se posteriormente a um decréscimo do número de fábricas, em resultado da concentração industrial [Valente *et al*, 2000].

No entanto, durante o século XX, assistiu-se ao rápido desenvolvimento das técnicas avançadas de caracterização de materiais como a microscopia electrónica. Os materiais cerâmicos tornaram-se cada vez mais refinados, tendo-se desenvolvido e sintetizados outros para diversas aplicações. Os aditivos orgânicos que facilitam os processamentos também foram introduzidos. A produção industrial tornou-se cada vez mais mecanizada e várias etapas de fabrico foram automatizadas [Aster, 1993].

Na segunda metade do século XX, assistiu-se a avanços que culminaram na síntese, caracterização e fabricação de modernos produtos cerâmicos. A microscopia electrónica passou a ser usada como método corrente de análise de microestruturas e de controlo de qualidade da fabricação. Vários instrumentos e técnicas foram desenvolvidas para análise química, com limites de detecção inferiores a uma parte por milhão (ppm), e a técnica de análise granulométrica de materiais com fracções inferiores a 0,1 μm passou a efectuar-se em somente alguns minutos. A informática passou a ser utilizada como ferramenta importante no controlo e gestão da produção. No final do século XX, a tecnologia do processamento cerâmico e os respectivos

desenvolvimentos aparecem enquadrados por preocupações que se relacionam com a escassez de recursos, a preservação do meio ambiente e a qualidade de vida [Aster, 1993].

Actualmente, operam no mercado nacional aproximadamente mil e seiscentos empresas, totalizando aproximadamente trinta e seis mil trabalhadores, com um volume de negócios elevado [Almeida, 2001]. A existência de jazidas de matéria-prima é um factor importante e determinante para a localização deste tipo de indústria. No território nacional estão disponíveis para a indústria cerâmica matérias-primas de qualidade e em quantidade. Nestas condições, verificando-se a existência do maior número de unidades industriais nos distritos de Aveiro, Leiria, Santarém e Lisboa, que perfazem cerca de dois terços das unidades nacionais [Almeida, 2001].

Os produtos cerâmicos portugueses apresentam uma boa imagem de marca reconhecida a nível internacional, principalmente nas áreas de pavimentos e revestimentos, da porcelana e da faiança. No entanto, a crescente concorrência de países onde a mão-de-obra apresenta baixos custos surge como uma ameaça ao sector. Estes países têm vindo a adquirir maquinaria europeia, nomeadamente italiana e alemã, tornando a sua indústria cerâmica mais competitiva [Fonseca, 2000]. Desta forma, a indústria cerâmica portuguesa enfrenta alguns desafios. Existe uma forte dependência de um elevado número de recursos humanos pouco especializados, que só a tornam competitiva pelo facto desta mão-de-obra apresentar remunerações baixas em comparação com os restantes países desenvolvidos. A indústria cerâmica nacional apresenta também, em muitos casos, uma necessidade de inovação tecnológica que torne os processos mais competitivos e que compense a dependência externa relativamente às tecnologias [Serra, *et al*, 2003].

Actualmente, a classificação do sector cerâmico (v. Figura 1), encontra-se dividida em:

- **Cerâmica de construção**, subdividida em cerâmica estrutural (tijolo, telha e abobadilha) e cerâmica de acabamentos (azulejos, pavimentos e revestimentos e louça sanitária);
- **Cerâmica utilitária** (louça utilitária) e **decorativa** (objectos decorativos);
- **Cerâmica técnica** (próteses, material de laboratório, materiais para aplicações electrónicas, etc).

Cada um destes sub-sectoros apresenta problemas industriais específicos, que são solucionados recorrendo a soluções técnicas igualmente específicas em termos do processamento dos materiais [Fonseca, 2000].

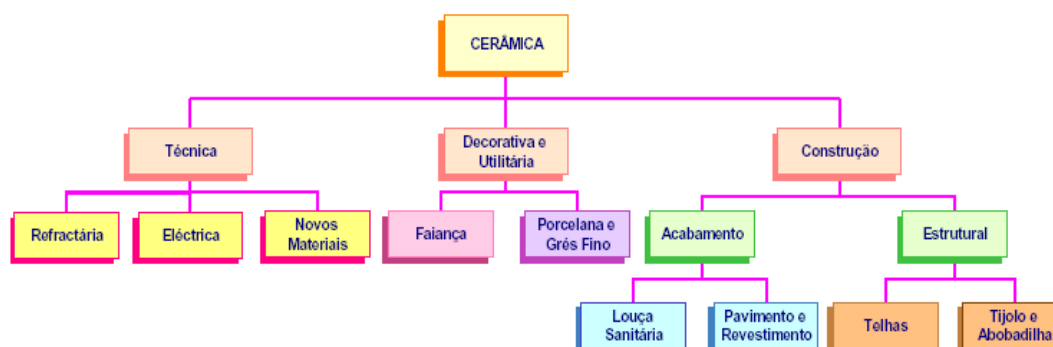


Figura 1. Sub-divisão da indústria cerâmica Portuguesa [Fonseca, 2000].

O sector de revestimentos que se encontra patente neste estudo-de-caso, encontra-se enquadrado segundo a visualização da Figura 1, na cerâmica de construção. Em 2004, o número de empresas neste sector era de quarenta, com um volume de emprego de quatro mil e seiscentas pessoas, uma produção de quatrocentos milhões de Euros, um volume de exportações de cento e sessenta e cinco milhões de euros e um volume de importações de oitenta e oito milhões de euros [Serra *et al*, 2003]. O enorme volume de exportações deste sector (correspondente a dezoito milhões de m²) destina-se principalmente aos mercados de França, Alemanha, Reino Unido, Holanda e Estados Unidos da América. A produção nacional de pavimentos e revestimentos representa somente 1,7% da produção mundial e 4,3% da produção da União Europeia [Serra *et al*, 2003]. De referir que 60% da produção deste subsector é gerada em empresas certificadas, coexistindo em pequenas e grandes unidades fabris. No entanto, a decoração dos produtos deste sector está dependente cada vez mais de *outsourcing* a fornecedores especializados, os coloríficos [Fonseca, 2000].

A decoração bem como o aumento das dimensões das peças assumem cada vez mais um papel determinante na actualidade deste sector, devido não só a uma oferta maior e mais integrada na arquitectura de interiores e exteriores, mas também a uma crescente automatização e utilização eficiente de *marketing* e de *design*, que conduz a um maior controlo da comercialização, fidelização dos clientes e satisfação dos consumidores [Silva, 2000].

Portugal apresenta-se, desta forma, como o quarto maior produtor de pavimentos e revestimentos da União Europeia, com uma relação de trabalhadores/profissionais de engenharia igual a setenta (comparativamente com a EU que possui uma relação de trinta), cuja evolução tecnológica é típica de uma passagem de estruturas de mão-de-obra intensiva, para estruturas de conhecimento intensivo [Silva, 1999].

Na Figura 2 encontra-se o fluxograma do sector dos pavimentos e revestimentos, podendo-se visualizar o processo de fabrico, bem como a cadeia de operações unitárias. Neste fluxograma observa-se que todo o processo tem início nas matérias-primas (inertes, argilas, corantes, etc.).

Ao longo do processo demarcam-se as seguintes fases principais:

- Atomização;
- Coloração;
- Prensagem;
- Secagem;
- Preparação de Vidrados;
- Vidragem;
- Cozedura;
- Escolha;
- Acabamento.

No entanto, neste fluxograma é também possível visualizar fases intermédias tais como: dosagem, moagem, turbodiluição, peneiração e mistura/agitação. Estas fases, apesar de serem intermédias, não são por isso menos importantes. Muito pelo contrário, constituem fases de suporte às fases principais e sobre as quais recaem exigências de controlo de qualidade.

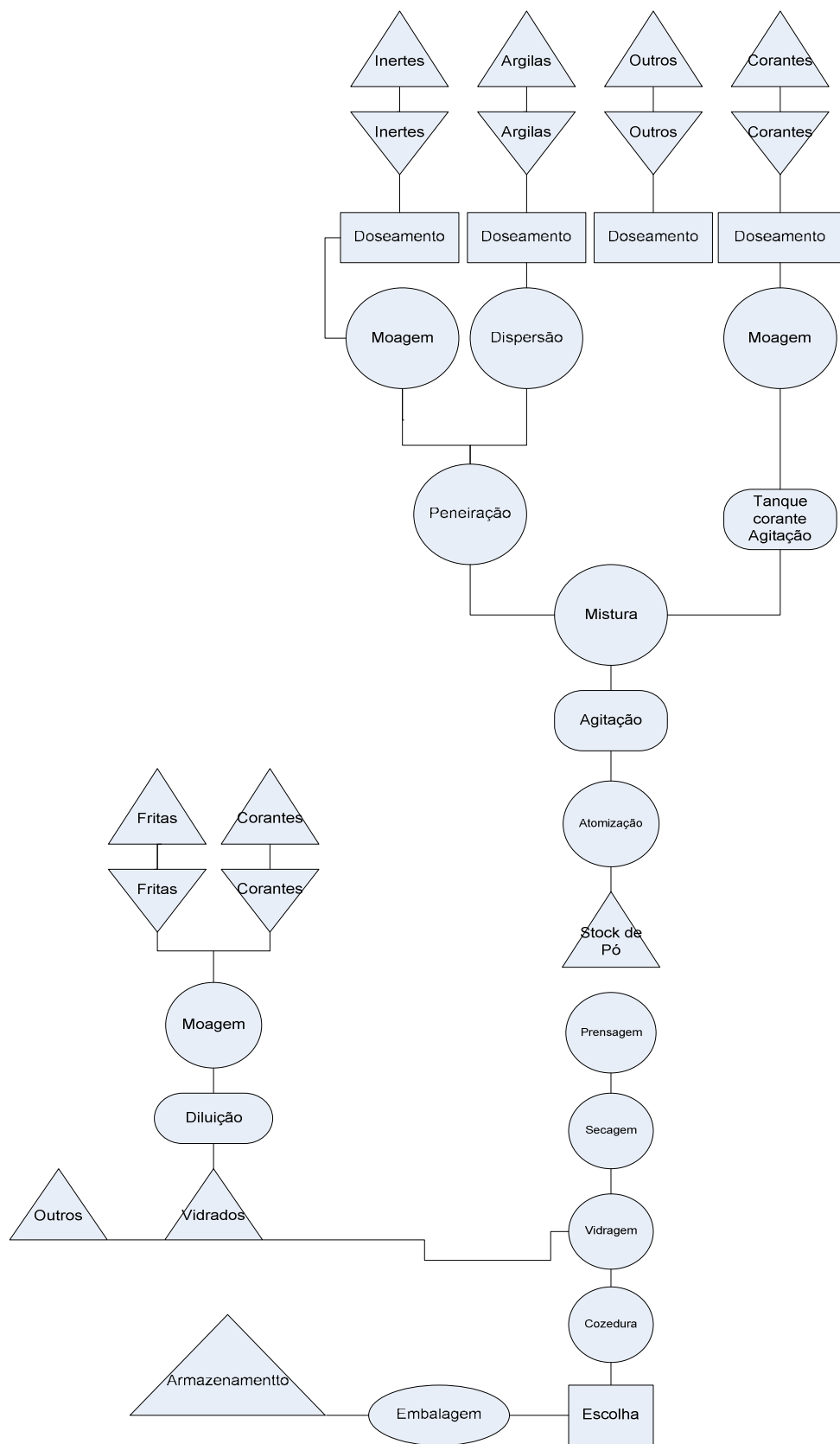


Figura 2. Fluxograma de pavimentos e revestimentos cerâmicos [Serra, 2003]

Numa primeira fase prepararam-se as matérias-primas de forma obter-se uma pasta com as características pretendidas. O conteúdo de água a adicionar às matérias-primas pode variar de acordo com o tipo de pasta pretendida [Pincus, 1964]:

- Pasta seca: 5÷10%;
- Pasta consistente: 10÷20%;
- Pasta macia: 20÷30%;
- Barbotina: 40÷50%.

Seguidamente, adicionam-se as matérias-primas (e. g., argila, caulino, feldspato, carbonato de cálcio, areia, sílica, etc.).

Após esta adição de matérias-primas, seguem-se as seguintes fases do processo de revestimentos cerâmicos [Serra *et al*, 2003]:

- a) Dosagem, na qual se doseiam as matérias-primas, os inertes fundentes, as argilas, os corantes e outros, e que pode ser realizada de forma manual, semi-automática ou automática;
- b) Moagem, na qual é realizado o esmagamento das matérias-primas, e que por norma é realizado de forma descontínua e em meio húmido;
- c) Turbodiluição, na qual é adicionado água ao produto da moagem num tanque em constante agitação;
- d) Peneiração, na qual o produto proveniente do processo anterior de turbodiluição é peneirado, de forma a separar e retirar as partículas mais pequenas;
- e) Mistura/agitação, na qual se promove a mistura das matérias-primas de forma homogénea;
- f) Atomização, a qual transforma a mistura homogénea previamente agitada em pó atomizado.

Nas instalações fabris que não possuem secção de preparação de pastas, a recepção do pó atomizado é geralmente realizada numa tulha, com uma capacidade de aproximadamente vinte e cinco toneladas, situada no exterior das instalações e onde são descarregados os camiões que transportam pó atomizado. Da tulha, o pó é transportado por tela até uma de bateria silos de armazenamento com uma capacidade de cerca de quarenta e oito toneladas cada. A descarga dos silos e abastecimento das torres tecnológicas/prensas é realizada através de dois circuitos independentes compostos por uma nora, telas transportadoras e crivos;

g) Torres tecnológicas e instalações de coloração, onde o pó atomizado para as prensas é abastecido. As torres tecnológicas das prensas são compostas por silos de abastecimento com uma capacidade de aproximadamente três toneladas, que recebem o pó directamente dos silos de armazenamento e que permitem uma operação com dois tipos de pó diferentes. Estes silos abastecem também o circuito de coloração a seco. O sistema de coloração permite, através de um processo de mistura homogénea a seco do pó atomizado neutro com corantes, prensar pós-corados. O sistema, que é gerido num posto de controlo onde são impostos todos os parâmetros de trabalho, é composto por um circuito de abastecimento de corantes, que permite trabalhar com quatro corantes diferentes. Os corantes são introduzidos manualmente em silos de carga de onde são transportados por um sistema de transporte pneumático para os silos de abastecimento do colorador. O doseamento do pó neutro para a composição das receitas impostas é realizado em contínuo, através de uma tela pesante que descarrega dos silos intermédios para uma tela para onde também são doseados os corantes. Os corantes são doseados através de um sem-fim e o peso descarregado é controlado em contínuo por uma célula gravimétrica. Depois de doseados, a mistura do pó neutro com os corantes é transportada para um misturador, com uma capacidade de aproximadamente quinze toneladas por hora, onde a mistura é homogeneizada. Do circuito de coloração, o pó corado é transportado para silos de abastecimento da prensa, permitindo estes silos enviar para a prensa somente o pó com uma granulometria mais fina;

h) Prensagem, onde o pó atomizado é conformado em prensas a pressões de aproximadamente 450 kg/cm^2 em peças com formatos variados ($60 \times 60 \text{ cm}$, $30 \times 60 \text{ cm}$, $40 \times 40 \text{ cm}$ e $60 \times 90 \text{ cm}$). O pó atomizado proveniente da torre tecnológica é abastecido à prensa através de carros de alimentação, que introduzem o pó nos alvéolos do molde. A gestão do carro e da torre tecnológica é realizada a partir de uma consola, que permite a regulação de todos os parâmetros de funcionamento;

i) Secagem, onde o material prensado é introduzido em secadores verticais, com uma capacidade total de aproximadamente 465 m^2 (dependendo do formato), para lhe ser removida a humidade. O tempo de permanência e a temperatura a que o material é sujeito devem ser tais que garantam uma humidade residual inferior a 0,5 %, dependendo das condições ambientais, humidade do pó, formato das peças, etc.

j) Preparação de vidrados, que é realizada aquando a recepção de todas as matérias-primas e produtos preparados, bem como a preparação de todos os produtos necessários para a linha de vidragem e decoração. Para tal, existem disponíveis os seguintes equipamentos: misturadores, equipamentos de pesagem e doseamento, e moinhos para a efectuar a preparação de todos os produtos necessários, de acordo com as especificações fornecidas.

k) Linhas de vidragem e decoração, onde após o processo de secagem o material para lhe serem aplicadas todas as decorações superficiais que sejam necessárias, de acordo com os efeitos estéticos ou técnicos pretendidos. Para tal, estão disponíveis variados equipamentos: máquinas de serigrafia rotativa, máquinas de serigrafia plana, máquinas de serigrafia com rolos de silicone, máquinas de serigrafia a seco, campânulas, velas, discos, cabanas para aplicação de fumados e vidros, etc. Todas as aplicações necessárias para a linha de vidragem são preparadas no sector de preparação de vidros de acordo com as especificações fornecidas. No final da linha de vidragem existem máquinas de carga onde o material é carregado em vagonas, com uma capacidade de aproximadamente 165 m² (dependendo do formato). As vagonas são imobilizadas em parque, aguardando desta forma a entrada para o forno e acabam por constituir desta forma um pulmão no processo.

l) Cozedura, onde o material existente nas vagonas é transportado por estas para a entrada do forno, de acordo com uma programação realizada previamente. Nos fornos de rolos contínuos, o material é sujeito a um tratamento térmico de 60 a 70 minutos numa distância total de cerca de 130 m com um perfil de temperaturas pré-definido. A temperatura máxima no forno situa-se entre 1050 a 1250°C, dependendo do tipo de produto, garantindo desta forma todas as transformações desejadas na pasta e vidrados. No final do forno, existem máquinas de carga onde o material é novamente carregado em vagonas. Mais uma vez as vagonas são imobilizadas em parque, aguardando a entrada na secção de escolha e acabamento.

m) Escolha e acabamento, onde o material contido nas vagonas é introduzido nas linhas de escolha e acabamento através de uma máquina de carga. Nesta secção, o material é processado de acordo com as necessidades em termos de sub-formatos (corte), acabamentos (polimento ou rectificação). A escolha consiste em detectar defeitos visuais e dimensionais de acordo com critérios definidos previamente, sendo os defeitos visuais detectados por operadores e os

dimensionais automaticamente. Depois de escolhido, o material é separado e embalado automaticamente e colocado em paletes. Após este processo, o material já embalado é enviado para o armazém de produto acabado.

2.2. Necessidades energéticas e fontes de energia usadas

A indústria cerâmica constitui-se como um elevado consumidor de energia, mais especificamente nas fases de atomização, secagem e cozedura. Verifica-se que, em todos os sectores subjacentes a esta indústria, a energia mais consumida é a térmica. Contudo, a energia eléctrica também é muito utilizada, sendo os seus principais consumidores o ar comprimido, a iluminação geral da indústria, a força motriz das máquinas, o ar condicionado e os sistemas de despoeiramento [Serra *et al*, 2003].

O processo de racionalização do uso de energia eléctrica no processo produtivo do sector cerâmico torna-se desta forma cada vez mais importante, pois não só permite reproduzir uma estatística dos gastos globais ou sectoriais de energia eléctrica, como também essa informação acaba por ser relevante no projecto ou optimização de sistemas produtivos, visando maior eficácia energética [Kingery, 1983]. Desta forma, a eficiência energética no sector cerâmico pode passar pela aplicação de métodos de gestão de energia nas indústrias cerâmicas, como, por exemplo, a existência de programas de conservação de energia e o estabelecimento de comissões de energia. Infelizmente, são poucas as indústrias cerâmicas com capacidade tecnológica para interferir nas tecnologias do processo de produção bem como para reduzir o consumo de energia. Na maioria das vezes, a redução do consumo de energia é realizada com acções indirectas como, por exemplo, redução da produção, paragens de alguns sectores da produção, etc. [Silva, 1999].

Ao longo dos tempos, todo o processo de conservação e poupança de energia para grande parte das indústrias cerâmicas tem vindo a ser melhorado significativamente, através de medidas de redução do consumo de energia e aumento da eficácia do sistema de isolamento térmico dos secadores e fornos, bem como do reaproveitamento de calor. Evidentemente, as consequências dessa situação são específicas para cada indústria. Assim, grande parte das empresas cerâmicas procuram primariamente reduzir o consumo de energia eléctrica da iluminação. Em seguida,

procuram racionalizar a energia na sua utilização, envolvendo para tal os colaboradores da empresa através de acções de consciencialização do uso correcto e adequado de energia. Por último, adquirem ou alugam geradores de energia eléctrica, com motores a diesel, cujo consumo é menor e mais barato [Aster, 1993].

De acordo com [Fonseca, 2000], existem algumas medidas que ajudam o processo de racionalização de energia na indústria cerâmica, tais como:

- i) Aquisição ou aluguer de geradores de energia eléctrica, para situações pontuais, em que não existe energia no sistema;
- ii) Redução da produção, que implica paragens de máquinas, de fornos, secadores e de equipamentos, que consequentemente baixa de forma drástica o consumo energético da unidade fabril;
- iii) Suspensão do funcionamento de equipamentos da produção aquando da não utilização dos mesmos, de forma a evitar gastos superfluos de energia;
- iv) Cogeração de energia eléctrica, que aproveita energia do sistema, utilizando-a em pequenas unidades fabris e optimizando o sistema;
- v) Redução na utilização de ar condicionado, que diminui o consumo de energia eléctrica e consequentemente optimiza o sistema energético;
- vi) Paragem de alguns sectores da indústria, que implica paragem de máquinas e consequente diminuição de consumos de energia eléctrica;
- vii) Formação e consciencialização de colaboradores, por forma a serem sensibilizados para a redução de utilização de energia, ou mesmo a não utilização da mesma;
- viii) Utilização de combustíveis alternativos, que não só promove a eficiência do sistema através de menor consumo de combustíveis fósseis, como também consequentemente diminui a emissão de gases com efeito de estufa para a atmosfera;
- ix) Importação de matérias-primas, que promove a redução de consumo nacional de energia, dado que não recorre a necessidade de máquinas e equipamentos para a produção da matéria-prima.

2.3. Operações unitárias críticas

Segundo [Reed, 1987], as operações críticas, em termos de consumo de energia, são as seguintes:

(i) Recepção e armazenamento de matérias-primas: nesta fase, o pó é fornecido por entidades externas, através de camiões que o descarregam em tolva colectora. Apesar de não se recorrer a varios equipamentos/máquinas, uma vez que a matéria-prima é fornecida externamente, ocorre um consumo de energia considerável, devido não só ao funcionamento diário e contínuo dos silos, mas também aos sistemas de despoeiramento associados a esta operação crítica, que também trabalham em contínuo. Estes sistemas de despoeiramento não são mais do que sistemas que filtram as partículas que não deverão ser emitidas para a atmosfera, de acordo com a legislação ambiental vigente.

(ii) Prensagem e secagem: nesta segunda fase do processo produtivo de revestimento, o pó é transportado por um sistema pneumático para silos de armazenamento, nos quais permanecem até ao seu abastecimento às prensas, que o conformam de acordo com os formatos e superfícies das gamas em produção. Após a prensagem, os produtos são sujeitos a um processo de secagem em secadores, através do qual se garante a eliminação da humidade em excesso necessária à prensagem, mas também garantem a temperatura ajustada ao processo de vidragem a húmido. A prensagem e a secagem têm por objectivo “dar forma” ao corpo cerâmico e conferir-lhe as propriedades físicas que lhe permitam suportar a vidragem, decoração e cozedura. Na cerâmica existe uma variedade enorme de secadores de diferentes tipologias e tecnologias, adaptadas à produção de cada tipo específico de produto que se pretende secar. Como tal, existem secadores que apresentam consumos energéticos que podem variar entre 1300 kcal/kg e 2000 kcal/kg, dependendo da velocidade, da massa do produto, da temperatura de secagem e da quantidade de água que se pretende extrair. Na fase de secagem, ocorre um consumo energético significativo, devido sobretudo à existência dos secadores, que, ao trabalharem em contínuo, exigem elevadas eficiências energéticas para que o material respeite a gama de controlo da qualidade ao nível do grau de humidade exigido. A secagem é, por estas razões, considerada uma das operações unitárias cujo consumo energético é considerável. Na fase de prensagem ocorre um consumo

energético inferior ao da secagem, devido à simplicidade do equipamento. Deve-se salientar que muitos dos sistemas de secagem no sector cerâmico já não aproveitam o calor gerado nos fornos, na operação subsequente de cozedura dos produtos;

(iii) Preparação de vidrados: esta terceira fase tem por objectivo a obtenção de suspensões e de preparações de vidros e de tintas cerâmicas, que permitam a sua aplicação na vidragem e decoração. Existe um consumo energético associado aos moinhos de bolas descontínuos, que efectuem a moagem dos vidros. Estes moinhos descontínuos exigem um elevado consumo energético para efectuarem correctamente a moagem de vidros. Contudo, uma vez que não trabalham em contínuo, estando grande parte do tempo em repouso, o consumo energético associado aos mesmos não é muito significativo em comparação, por exemplo, com o processo de secagem e prensagem, que funcionam em contínuo;

(iv) Vidragem e decoração: após a secagem, segue-se a quarta fase: o processo de vidragem e decoração nas linhas de vidrar com equipamentos diversos. As linhas de vidragem e decoração têm por objectivos a aplicação de vidros e tintas sobre o suporte cerâmico, que irão conferir ao produto as suas condições estéticas de superfície e aspecto final. Comparativamente com as outras operações unitárias, esta operação apresenta o menor consumo energético, uma vez que a energia dispendida para que ocorra a vidragem e a decoração ocorre somente no movimento das linhas (correias que transportam o material), na rotação dos rotocolores (rolos serigráficos) e na aplicação de engobes, tintas e vernizes numa câmpanula, que não exige grandes consumos de energia;

(v) Cozedura: a quinta fase é a cozedura, fase central do processo cerâmico, caracterizada por um conjunto de transformações físicas e reacções químicas a alta temperatura, conferindo as propriedades finais ao produto. Existem vários tipos de fornos: fornos túnel muflados (a chama não entra em contacto directo com os produtos), fornos túnel de queima directa (os produtos são aquecidos por exposição directa à chama) e fornos de rolos (constituídos por queimadores de alta velocidade e que possuem módulos de controlo de temperatura). A cozedura constitui uma operação unitária crítica com elevado consumo energético de gás natural, devido ao facto de trabalhar em contínuo e também devido ao facto de operar com processos de queima, que exigem não só equipamento de elevada eficiência energética, mas também equipamentos que operam a

elevadas velocidades. Como tal, esta operação é crítica e considerada a que mais gás natural consome ao longo de todo o processo produtivo de revestimentos;

(vi) Escolha e embalagem: a sexta fase consiste nas escolhas visuais e de parâmetros dimensionais e de planaridade em máquinas de escolha e embalagem automática. Esta fase não exige elevado consumo energético, pelo facto do consumo de energia estar somente inerente ao movimento de correias, ao funcionamento de máquinas de escolha, à embalagem automática (que requer baixa potência das máquinas) e à utilização de lâmpadas de baixo consumo nos postos de escolha de material;

(vii) Armazenagem e expedição: a última fase consiste na aprovação de lote, ficando desta forma disponível para passar ao armazém, no qual são preparadas e efectuadas as cargas para expedição. Nesta fase, o consumo energético é quase nulo, uma vez que não necessita de máquinas para que o material seja armazenado (que consomem energia), mas sim de empilhadores movidos a gás propano e de baixo consumo.

Em suma, as operações unitárias críticas que são consideradas as de consumo de energia significativo são a recepção e armazenamento de pó, a prensagem, a secagem e a cozedura [Reed, 1987].

2.4. A Cogeração no sector dos revestimentos

A cogeração é uma tecnologia que aumenta significativamente a eficiência de conversão dos recursos energéticos, reduzindo ao mesmo tempo as emissões globais e os custos de operação em mais de 40% [McColm, 1995].

Estes sistemas caracterizam-se por estabelecerem a geração combinada de calor e de energia eléctrica/mecânica, utilizando como fonte primária um único combustível. Para a obtenção desta combinação são normalmente utilizados equipamentos geradores de energia mecânica ou eléctrica, tais como motores alternativos (Ciclo Otto ou Diesel), turbinas a gás, células de combustível e caldeiras/turbinas a vapor, associadas a equipamentos capazes de aproveitar o calor rejeitado por estes, tais como caldeiras de recuperação, permutadores de calor ou *chillers* de absorção [Fonseca, 2000].

As principais vantagens da utilização da cogeração resumem-se aos seguintes factores [Etsu, 1992]:

- Menor custo de energia (eléctrica e térmica);
- Melhor qualidade da energia eléctrica, no caso de ser mantida a ligação à rede;
- Anulação de custos de transmissão e de distribuição de electricidade;
- Maior eficiência energética;
- Menor emissão de poluentes (vantagens ambientais).

A cogeração é particularmente apropriada em instalações com elevados níveis de consumo de energia térmica ao longo do ano, como é o caso da indústria cerâmica de revestimentos e pavimentos [Jackson, 1993]. Existem já algumas empresas do sector de revestimentos que investiram no processo de cogeração em Portugal.

Dentro dos combustíveis fósseis, o gás natural é a energia primária mais frequentemente utilizada para fazer funcionar as centrais de cogeração. Estas podem todavia recorrer igualmente às fontes de energias renováveis (biomassa) e aos resíduos industriais [Schwartzwalder *et al.*, 1978]. O processo de cogeração a gás é menos poluente do que o processo a petróleo ou a carvão, na medida em que o gás natural liberta, por ocasião da sua combustão, uma menor quantidade de dióxido de carbono (CO₂), de óxido de azoto (NO_x) e de outros efluentes [Serra, *et al.*, 2003].

As principais barreiras à viabilidade económica para a implementação da cogeração no sector cerâmico de revestimentos e pavimentos são actualmente o elevado preço do gás natural associado a um decréscimo das tarifas de energia eléctrica industrial, subsidiada pelo Estado Português e ainda o elevado custo dos investimentos, uma vez que os equipamentos principais são caros, existindo ainda a dificuldade, por parte das indústrias cerâmicas, de obtenção de financiamento para a respectiva aquisição [Serra, *et al.*, 2003].

A deficiência mundialmente existente no abastecimento de energia eléctrica, e a consequente racionalização deste consumo, com elevadas implicações para indústrias e sociedade, trouxeram a Portugal a cogeração, com gás natural, para a agenda do sector produtivo, que passou a considerá-la como sendo um ferramenta de garantia da fiabilidade operacional da indústria a longo prazo (operação contínua). Em contrapartida, os grupos geradores Diesel são considerados como sendo uma solução a curto prazo para a operação em situações específicas [Fonseca, 2000].

Assim, a estabilização da oferta de energia pelas centrais hidroeléctricas, o anúncio de dificuldades existentes em centrais termoeléctricas e as incertezas quanto ao preço da energia eléctrica estão a fazer com que as indústrias do sector cerâmico optem pelas soluções de curto prazo, mas espera-se que se consiga, a nível mundial, alcançar o equilíbrio favorável à autoprodução com recurso ao gás natural [Fonseca, 2000].

Em termos tecnológicos, o aproveitamento do calor residual de máquinas térmicas pode constituir uma barreira aos projectos de cogeração em pequena escala. Os motores alternativos são uma tecnologia consagrada e disponível em baixas potências, mas cerca de 50% da energia térmica produzida, referente ao arrefecimento do bloco do motor, é disponibilizada entre 80°C e 124°C, impossibilitando seu emprego na maioria dos casos e resultando numa eficiência do sistema muito baixa (inferior a 60%) [Furtado e Furtado, 1997].

Por outro lado, a utilização de turbinas ou de micro-turbinas a gás permitirá um elevado aproveitamento do excedente térmico, mas as primeiras serão mais adequadas para potências superiores a 1 MW enquanto as últimas ainda carecem de revisão e análise operacional. No entanto, a pequena rede de distribuição de gás natural existente no nosso país encontra-se ainda muito limitada geograficamente, não permitindo o crescimento do número de indústrias capazes de aplicar sistemas de cogeração. Além disso, a baixa capacidade técnica, predominante entre as indústrias, gera muitas dificuldades na implementação dos projectos de cogeração futuros, desde a negociação até à operação. Assim, pode-se considerar que a disseminação da utilização da cogeração de energia no sector cerâmico afectaria positivamente o mercado como um todo, uma vez que iria promover o mercado de bens de capital ligados à energia, estimular a fabricação em Portugal dos principais componentes da cogeração, aumentar consequentemente a competição no mercado de energia da rede e fomentar a utilização de tecnologias ainda não tradicionais em Portugal, conduzindo desta forma ao aparecimento de empresas prestadoras de serviços especializados [Serra *et al.*, 2003].

Concluindo, a implementação de sistemas de cogeração em indústrias do sector cerâmico pode ser considerado uma técnica economicamente viável, desde que as empresas apresentem certas características operacionais, ou seja, onde além do uso intensivo da electricidade existe um consumo permanente de energia térmica [Thurnauer, 1977]. Torna-se assim fundamental garantir

a viabilidade do investimento e ter acesso a tarifas diferenciadas para o gás natural utilizado nos sistemas de cogeração de energia [Allen *et al.*, 2003]. Deve-se ainda salientar que estes sistemas de cogeração podem contribuir em muito para a diminuição de custos de energia, dado que, ao reaproveitar-se o calor rejeitado por equipamentos geradores de energia mecânica ou eléctrica mencionados anteriormente, o mesmo pode ser inserido no processo de secagem, evitando assim elevados consumos energéticos dos secadores e optimizando o processo produtivo de revestimentos.

Capítulo 3

Eficiência e otimização energéticas

3.1. Conceitos fundamentais

A eficiência energética pode ser definida como sendo a optimização que pode ser realizada no consumo de energia. Antes de se transformar em calor, frio, movimento ou luz, a energia sofre um percurso mais ou menos longo de transformação, durante o qual uma parte é desperdiçada e outra, que chega ao consumidor, nem sempre é devidamente aproveitada [Centro para a Conservação da Energia, 2007]. A eficiência energética pressupõe a implementação de estratégias e medidas para combater o desperdício de energia ao longo do processo de transformação, desde que a energia é transformada e, mais tarde, quando é utilizada. A eficiência energética acompanha todo o processo de produção, distribuição e utilização da energia, que pode ser dividido em duas grandes fases [Serra *et al.*, 2003]:

(i) Na transformação: a energia existe na Natureza em diferentes formas e, para ser utilizada, necessita de ser transformada. Durante essa transformação, parte da energia perde-se, gerando desperdícios prejudiciais para o ambiente. Parte destas perdas é inevitável e deve-se a questões físicas (2ª Lei da Termodinâmica), mas outra parte é perdida por mau aproveitamento e falta de optimização dos sistemas. Esse desperdício tem vindo a merecer a crescente atenção das empresas que processam e vendem energia [Centro para a Conservação da Energia, 2007]. Por outro lado, sendo a energia um bem vital às economias, este tema faz parte da agenda política de vários países e tem vindo a suscitar uma crescente inquietação da comunidade internacional. Neste contexto, têm-se multiplicado as iniciativas para a promoção da eficiência energética. Empresas, governos e ONGs por todo o mundo têm investido fortemente na melhoria dos processos e na pesquisa de novas tecnologias energéticas, mais eficientes e menos poluentes, bem como no aproveitamento das energias renováveis [Comissão Europeia, 1993].

(ii) Na utilização: o desperdício de energia não se esgota na fase de transformação ou conversão, ocorrendo também durante o consumo. Nesta fase, a eficiência energética é frequentemente associada ao termo "Utilização Racional da Energia" (URE), que pressupõe a adopção de medidas que permitem uma melhor utilização da energia, tanto no sector doméstico, como no sector de serviços e industrial. Por meio da escolha, aquisição e utilização adequada dos equipamentos, é possível alcançar significativas poupanças de energia, manter o conforto e

aumentar a produtividade das actividades dependentes de energia, com vantagens do ponto de vista económico e ambiental. Enquanto a eficiência energética durante a transformação da energia depende apenas de um número restrito de intervenientes, nesta fase depende de toda a sociedade [Comissão Europeia, 1995].

3.2. Ferramentas de optimização energética

A ferramenta que irá ser utilizada no estudo-de-caso do presente trabalho será o *software* UMBERTO. Este *software* constitui uma importante ferramenta de modelação, uma vez que permite calcular e visualizar a transferência de energia entre sistemas. O UMBERTO é um programa de gestão ambiental e análise de fluxos de materiais e energia. Este programa é utilizado em numerosas empresas industriais, de consultoria, universidades e outras instituições de investigação. Como a utilização não é limitada a um sector específico, nas referências figuram entre outros empresas ligadas aos seguintes ramos: automóvel, químico, farmacêutico, revenda, alimentação, pasta e papel, equipamentos e máquinas, semicondutores, etc. [Schmidt e Schorb, 1995].

Os principais objectivos da utilização do *software* UMBERTO nas empresas são detectar pontos cruciais (*hotspots*) para optimização dos processos no sistema de produção, reduzir os recursos de materiais e energia e minimizar as quantidades de emissões poluentes e, consequentemente, reduzir os custos. Para o planeamento de medidas e para o apoio à tomada de decisões, o *software* UMBERTO oferece a tecnologia de comparação de cenários, com a qual várias alternativas de optimização podem ser avaliadas facilmente [Schmidt e Häuslein, 1996]. Ao mesmo tempo, o *software* UMBERTO pode ser aplicado como suporte para um Sistema de Gestão Ambiental (SGA), permitindo recolher e gerir com transparência todos os dados necessários para determinar balanços ecológicos, declarações exigidas pela lei e relatórios ambientais. O facto de o *software* UMBERTO apresentar várias interfaces de importação e exportação de dados, bem como de apresentar a possibilidade de acrescentar maior

funcionalidade utilizando “macros”, torna-o numa ferramenta útil de um sistema de informação ambiental (*environmental information system*) [Möller *et al.*, 1997].

Tendo como base o conceito das redes de fluxos de material (*material flow networks*), o *software* UMBERTO projecta a modelação de sistemas como fábricas e linhas de produção, possuindo para tal efeito um editor gráfico (*network editor*) que serve para uma modelação rápida e fácil dos dados que são previamente introduzidos para efectuar os respectivos balanços mássicos. Este editor gráfico tem anexo uma folha-de-cálculo Microsoft Excel, que automaticamente gera gráficos, após a introdução dos dados. A especificidade do mapa processual pode ser realizada não só via manual pelo utilizador, como também utilizando uma vasta biblioteca com mais de quatrocentos módulos. Estes módulos não são mais do que definições de processos de diversos sectores (transportes, energia, metais, plásticos, resíduos, etc.) que podem ser utilizados no caso de não existirem dados específicos da própria empresa ou sector. Através das especificações dos processos, o *software* UMBERTO permite calcular todos os fluxos de materiais e energia do sistema. Os resultados por cada produto estão também disponíveis, tendo não só em conta a distribuição da utilização de recursos nos diversos processos conjuntos (*allocation in coupled processes*), como também os custos relacionados com estes produtos. Os resultados desse cálculo ou inventário (*inventory*) podem ser apresentados de várias formas, sendo maioritariamente apresentados através de tabelas ou gráficos destinados principalmente a facilitar a análise, que à posterior servirão de base para avaliações de impacto ambiental (*impact assessment*) [Möller, 2000]. Na biblioteca do *software* UMBERTO encontram-se disponíveis vários métodos *standard*, podendo no entanto outros métodos ser criados pelo utilizador. A gestão da empresa, obtém informações periódicas sobre o desenvolvimento em áreas sensíveis e sobre o desempenho ambiental através da utilização de indicadores-chave. Não só os fluxos de materiais e de energia nos sistemas analisados com o *software* UMBERTO, como também os processos do sistema de produção, podem ser anexados ao sistema de avaliação de custos [Möller, 1994].

O *software* UMBERTO apresenta uma componente de contabilidade analítica integrada muito importante, que permite calcular simultaneamente os encargos directos e indirectos. Desta forma, os gastos são maioritariamente apresentados em função dos tipos de custos por cada produto ou

serviço fornecido pelo sistema. Consequentemente uma medida planeada não só alvo de uma avaliação ambiental como também económica, permitindo ao gestor efectuar o cálculo da amortização do investimento e decidir com base em dados confiáveis [Möller & Rolf, 2000]. Todos os outros resultados da análise assim como os dados financeiros, podem ser apresentados em tabelas ou diagramas, que consequentemente podem também ser impressos com relatórios predefinidos, permitindo o *software* UMBERTO exportar estes ficheiros para outras aplicações (*software* de apresentações, programas de criação de páginas *Web*, etc.) [Schmidt, 1994].

Os diagramas de *Sankey* do *software* UMBERTO merecem também ser referidos, dado que permitem representar / visualizar as redes com setas de largura proporcional à quantidade de fluxos de materiais. Este tipo de representação é muito utilizado em relatórios ambientais [Meyer, 1997]. O *software* UMBERTO é ainda constituído por outros componentes úteis, tais como; uma folha de cálculo (*Spreadsheet Tool integrated*), uma ferramenta gráfica (*Chart Tool*), um monitor de entradas (*Input Monitor*) para a administração central dos parâmetros e um editor (*Script Editor*). Todas estas componentes fazem com que o *software* UMBERTO seja uma ferramenta extremamente adequada à gestão ambiental eficaz e eficiente das empresas [Schmidt, 1995].

O *software* UMBERTO encontra-se disponível em três versões: **UMBERTO 5educ**, versão limitada e utilizada somente no âmbito académico e institucional de formação profissional; **UMBERTO 5business**, versão vocacionada para a indústria (pode ser alargada através de junção de outras componentes que permitem que toda a funcionalidade do *software* esteja disponível, e também inclui um suporte técnico e de modelação). A versão utilizada neste caso de estudo foi o *software* UMBERTO 5educ, com aplicação somente na análise de fluxos de materiais e de energia. A parte ambiental do programa não foi estudada, e não ocorreu qualquer tipo de aplicação de análise de ciclo de vida no caso de estudo [Schmidt, 1997].

Em Portugal, não são conhecidos muitos programas ou ferramentas que permitam a optimização energética e com aplicabilidade para a indústria cerâmica. Existe um programa do Centro Tecnológico de Cerâmica e do Vidro (CTCV), o GENE (Gestão de Energia), que faz a gestão segmentada nas áreas de electricidade e de outras energias, mas com aplicabilidade reduzida. O programa GENE consiste num registo de dados com uma periodicidade definida pelo utilizador,

que estabelece um plano de verificações e que emite os avisos necessários de forma automática. Este programa apresenta as seguintes características [Francisco & Barata, 2001]:

- Interface gráfico intuitivo para o ambiente *Windows*;
- Implementação multi-utilizador;
- Parametrização de consumos e especificação de metas;
- Gestão de energia (base facturação);
- Monitorização de energia (base contadores);
- Implementação de um plano de monitorização com avisos automáticos;
- Integração de dados da produção;
- Avaliação completa de consumos (incluindo consumos específicos);
- Análise gráfica;
- *Reporting* parametrizado com possibilidades de exportação (excel, word, html);
- Personalização segundo as características do sistema de informação da empresa.

Em suma, este programa limita-se a efectuar monitorizações energéticas, não realizando estudos de optimização como o *software* UMBERTO. O *software* UMBERTO analisa as situações críticas que ocorrem ao longo do processo produtivo e onde se verifica um elevado consumo energético. Nessas situações, o *software* UMBERTO, procura cenários alternativos, alterando máquinas, equipamentos e até mesmo a sequenciação do processo, de forma a conseguir diminuir o consumo de energia. Face a essas alterações, implementa-as e estuda-as, transmitindo valores que reflectem a optimização dessas medidas previamente estudadas. Se o resultado for um valor de consumo energético bastante inferior ao que se encontrava numa fase de pré-aplicação do *software* UMBERTO, então poder-se-á aplicar na prática com o respectivo estudo prévio de viabilidade do projecto e autorizações.

O *software* GENE constitui uma ferramenta útil nas auditorias energéticas, uma vez que acompanha de uma forma prática e simples todos os consumos energéticos, inclusivé por sector, e evidência essa monitorização em tabelas. Esta ferramenta apenas evidência valores inerentes à realidade da indústria, não permitindo a realização de qualquer estudo de optimização energética ou de diminuição de consumos energéticos por sector [Correia, 2000].

No entanto, existem mais programas que permitem a optimização energética e possuem alguma aplicabilidade para a indústria. Por exemplo, o programa *Schneider Electric* de acção energética é uma iniciativa interna da empresa *Schneider*, que procuram reduzir o consumo global de energia na *Schneider Electric* em 10% por empregado, em cada local de produção, durante o ano de 2008. Os especialistas em energia da *Schneider Electric* organizaram e executaram um projecto global para auditar, implementar e gerir acções energéticas nas suas fábricas e locais de escritórios em todo o mundo, bem como auditar e analisar o consumo de energia dos locais para implementar soluções de grande impacto. O primeiro passo passou por compreender o uso básico da energia em cada fábrica ou local de escritório. Os consultores da *Schneider Electric* realizaram auditorias energéticas que definissem sazonalmente os níveis ajustáveis de consumo de energia, os níveis de eficiência energética dos produtos e tecnologias instalados e o comportamento dos colaboradores relativamente à aplicação da eficiência energética nos locais de trabalho. Com base nestas auditorias, os consultores tiveram, deste modo, a possibilidade de compreender onde se situam as melhores oportunidades para implementar produtos de economia de energia, tecnologias e comportamentos. Da auditoria realizada pode ser obtido um “Plano de Acção Energética” detalhado que permite aos administradores das instalações organizar os seus programas locais de energia e assim definir prioridades nos investimentos. Não existem soluções padrão simples que possam ser implementadas em qualquer local, dado que todas têm diferentes vantagens energéticas. [Schneider Electric, 1999].

Para garantir poupanças, os técnicos da Schneider usaram automação e sistemas de supervisão para medir, controlar e analisar a utilização da energia na instalação. A prioridade dos projectos foi estabelecida com base em critérios normais de retorno do investimento, sendo a maior parte

reembolsados em 3 anos ou menos, garantindo desta forma eficazmente poupanças reais e constantes [Schneider Electric, 2005].

O programa Schneider acaba por ser um modelo energético que se encontra ligado não só a instrumentos do processo, mas também a autómatos, que recebem e tratam dados, e que, desta forma, procuram melhorar a eficiência energética de todo o processo produtivo. Os sistemas que este programa utiliza são designados como sendo “sistemas inteligentes de controlo” (autómatos), que detectam falhas do sistema a nível de eficiências energéticas e que de imediato procuram corrigir essas mesmas falhas pela aplicação de acções correctivas e preventivas. Este programa apresenta algumas vantagens na implementação de soluções de eficiência energética, tais como:

- Verificação da implementação de soluções eficientes de economia e energia e aplicáveis a indústrias/empresas;
- Melhoria do desempenho ambiental da indústria/empresa, ao nível da redução das emissões de gases nocivos;
- Redução de custos.

O programa da Schneider acaba por ser semelhante ao *software* GENE, uma vez que em ambos o modelo de avaliação consiste numa monitorização energética através da utilização de instrumentos inerentes aos processos. No entanto, enquanto o programa *Schneider* se liga aos instrumentos de processo e aos autómatos para receber e tratar dados, o *software* GENE recebe os dados pela introdução manual dos mesmos em ficheiros do Microsoft Excel. A partir deste ponto, ambos os *softwares* tornam-se úteis para monitorizar sistemas, uma vez que diariamente vão acompanhando o processo, permitindo desta forma visualizar pontos e situações críticas de eficiência energética.

O *software* canadiano *RETScreen* constitui uma ferramenta única, desenvolvida por técnicos do governo, indústria e universidades. Este *software* é um *software* acessível a todos mundialmente, uma vez que é fornecido gratuitamente pelo site de *Natural Resources of Canada*. O mesmo *software* é utilizado a nível mundial para avaliar a possível economia inerente à produção de energia, bem como custos associados, reduções de emissões gasosas, viabilidades financeiras e riscos inerentes aos vários tipos de energias renováveis e de eficiência energética de sistemas [Canmet Energy Technology Centre-Varenes, 1996].

O *RETScreen International Clean Energy Project Analyses* (disponível em várias línguas) inclui produtos, projectos, bases de dados de hidrologia e de condições climáticas, um detalhado manual de utilizador (*online*), e um estudo-de-caso baseado numa disciplina de âmbito universitário. Inclui ainda um livro de engenharia, para auxiliar na compreensão deste estudo de caso [Canmet Energy Technology Centre-Varenes, 1996]. Este *software* tem como principal objectivo ajudar a reduzir drasticamente os custos associados a implementação de projectos de eficiência energética. Constitui desta forma um programa de pré-viabilidade de projectos de energias renováveis. [Canmet Energy Technology Centre-Varenes, 1996].

Apresenta cinco principais etapas: [Canmet Energy Technology Centre-Varenes, 1996]

- Elaboração de um modelo de energia associado ao projecto de eficiência energética;
- Realização de uma análise de custos do projecto de eficiência energética;
- Realização de uma análise de consumos de energia associados ao projecto de eficiência energética;
- Emissão de um relatório final, no qual constará uma descrição detalhada da implementação do projecto de eficiência energética;
- Análise de riscos associados a implementação do projecto de eficiência energética.

Actualmente, o *RETScreen* é utilizado a nível mundial por universidades de vários países, tais como Argentina, Austrália, Canadá, Grécia, Finlândia, Irlanda, Rússia e Tailândia, etc. No entanto, deve-se salientar que a base de dados inerente a este programa não tem funcionalidade em Portugal, uma vez que países como os previamente mencionados possuem diferentes valores de energia, diferentes consumos energéticos, e que em nada podem ser comparados aos actualmente existentes em Portugal.

Em suma, o *RETScreen* é utilizado em projectos de energias renováveis em vias de serem implementados, numa fase prévia, permitindo elaborar desta forma estudos destinados a reduzir custos, e a avaliar a viabilidade de implementação dos mesmos, a nível de eficiência energética [Canmet Energy Technology Centre-Varenes, 1996].

Este *software* é utilizado na pré-concepção de projectos de energias renováveis, de forma a estudar a viabilidade dos mesmos. Não é utilizado em projectos já concebidos, uma vez que o

âmbito deste software consiste em efectuar uma optimização energética previamente à concepção/implementação de energias renováveis. Convém também realçar que o *RETScreen* se encontra também muito vocacionado para uma preocupação com as emissões atmosféricas, nomeadamente com os gases com efeito de estufa [Canmet Energy Technology Centre-Varennes, 1996].

Um outro *software* de optimização energética é o *Armstrong's Web-based EOS-Energy Optimization System*. Este *software* apoia a melhoria da eficiência de sistemas e assegura que a informação seja obtida virtualmente de qualquer parte, tendo sido desenvolvido por uma equipa de investigadores da empresa *Armstrong*, no intuito de fornecer os mais actuais processos operacionais, bem como sistemas de monitorização que possuem capacidades de reportar informação excelentes. A aplicação deste *programa* começa pela instalação de instrumentos e controladores em locais críticos e de acordo com a planta (*lay-out*) inicial. Estes instrumentos controlam colectores, processos, arquivos, etc., e, projectam os dados recolhidos para um sistema gráfico, utilizado através de um *standard Web browser*, cujo acesso é somente autorizado a utilizadores com uma palavra-chave, podendo os mesmos aceder em qualquer lugar, via Internet. Este *software* tem também a capacidade de monitorizar equipamentos e operações, podendo automaticamente ajustar parâmetros operacionais, a fim de se atingir uma eficiência óptima. Através da recolha dos dados operacionais, este programa permite optimizar preventivamente e manter calendarizações através da utilização de equipamento com cronómetro, de ciclos operacionais e de equipamento munido de informação.

O *Armstrong's Web-based EOS-Energy Optimization System* ajuda a providenciar uma maior segurança nas operações de monitorização, através da diminuição do erro associado aos equipamentos, através de dispositivos de alarme visuais e audíveis, bem como através de notificações de eventos anormais. É de salientar que o *EOS* gera bases de dados de processamento de informação, de compilações ambientais, de custos de combustíveis e de rotinas associadas aos processos. Contudo, estas bases de dados, tal como as utilizadas no *RETScreen*, não funcionam em Portugal. Este *software* acaba por constituir um incentivo ao controlo de custos associados a processos de optimização, uma vez que tem por base uma regra de gestão e controlo de gastos energéticos.

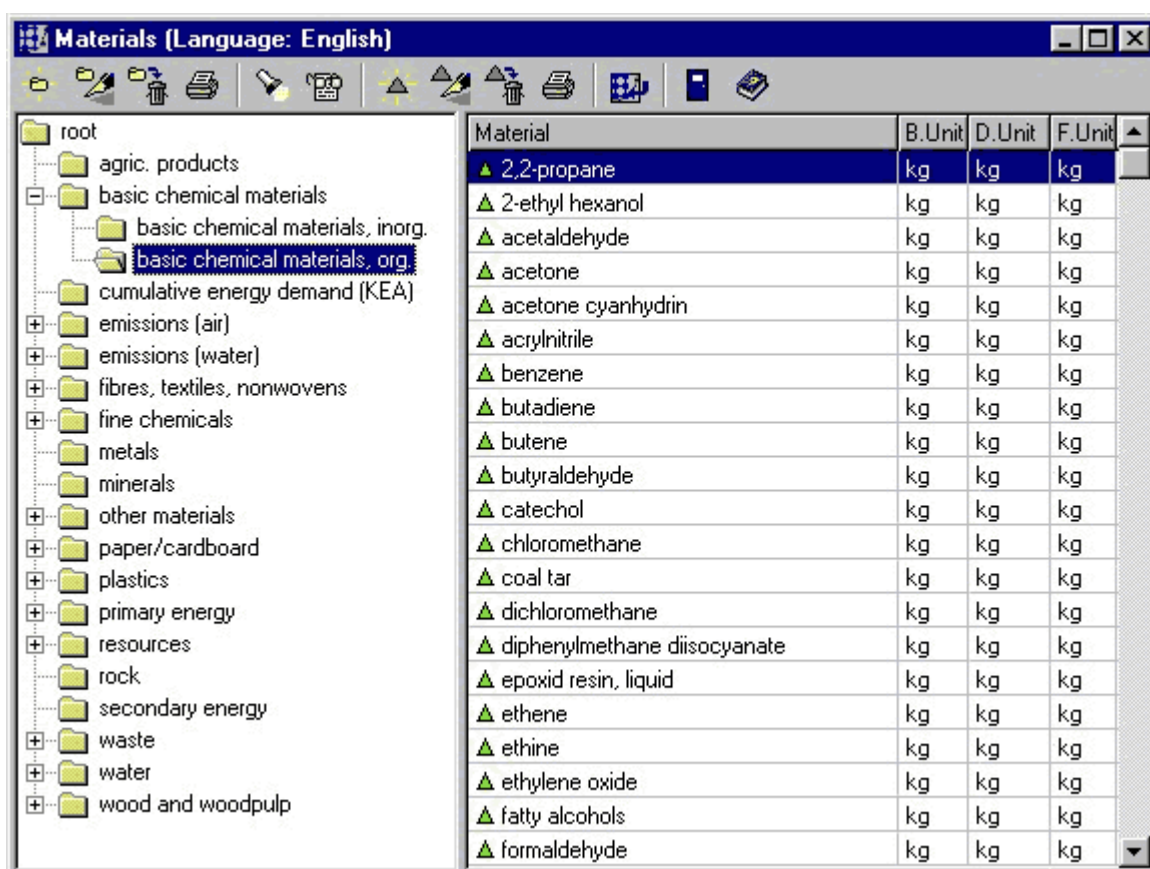
Comparando o *Armstrong's Web-based EOS-Energy Optimization System*, com os *softwares* previamente mencionados, este assemelha-se muito ao GENE, uma vez que acaba por ter um sistema de monitorização de dados, que podem ser adquiridos virtualmente e dependendo de uma palavra-chave de utilizador. Não constitui uma ferramenta semelhante ao *software* UMBERTO.

De uma forma geral, conclui-se que para cada tipo de estudo que se pretenda, existem diversos tipos de *software* de optimização energética, uns mais vocacionados para a energia, outros vocacionados para o ambiente, outros para viabilidade de projectos de energias renováveis e outros para os edifícios. Consoante o objectivo que se pretenda atingir, ter-se-á de escolher previamente o *software* adequado.

3.3. Aplicação do programa UMBERTO

Das ferramentas de optimização energética anteriormente referidas, optou-se no presente trabalho pela aplicação do programa UMBERTO, que apresenta várias funcionalidades, entre as quais se salientam:

- **Projectos:** neste item, o utilizador pode criar projectos individuais. Cada projecto é caracterizado por uma extensa lista de produtos, materiais, poluentes e formas de energia, que são todos referenciados como sendo materiais. São administrados segundo uma lista hierarquicamente estruturada [Schmidt e Schorb, 1995];



The screenshot shows the 'Materials (Language: English)' window. On the left is a hierarchical tree structure. On the right is a table listing materials with their units.

Material	B.Unit	D.Unit	F.Unit
2,2-propane	kg	kg	kg
2-ethyl hexanol	kg	kg	kg
acetaldehyde	kg	kg	kg
acetone	kg	kg	kg
acetone cyanhydrin	kg	kg	kg
acrylnitrile	kg	kg	kg
benzene	kg	kg	kg
butadiene	kg	kg	kg
butene	kg	kg	kg
butyraldehyde	kg	kg	kg
catechol	kg	kg	kg
chloromethane	kg	kg	kg
coal tar	kg	kg	kg
dichloromethane	kg	kg	kg
diphenylmethane diisocyanate	kg	kg	kg
epoxid resin, liquid	kg	kg	kg
ethene	kg	kg	kg
ethine	kg	kg	kg
ethylene oxide	kg	kg	kg
fatty alcohols	kg	kg	kg
formaldehyde	kg	kg	kg

Figura 3. Exemplo de uma folha de projecto [Schmidt e Schorb, 1995]

- **Cenários:** neste item, vários cenários podem ser criados num projecto. Um cenário é caracterizado por uma estrutura gráfica. Os processos são definidos pelo utilizador ou através da base de dados do UMBERTO, que contém muitos processos referentes a várias indústrias [Schmidt e Häuslein, 1996];

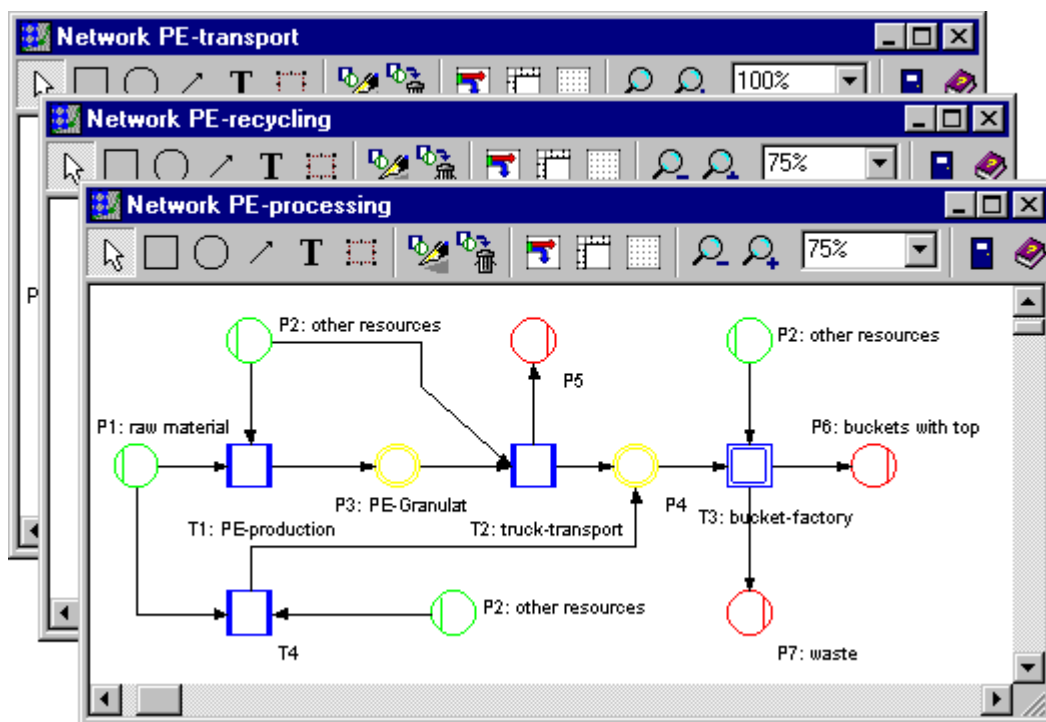


Figura 4. Exemplo de uma folha de cenários [Schmidt e Schorb, 1995]

- Períodos: neste item, assegura-se a continuidade da análise de material, através da imposição de um tempo que pode ser estabelecido para cada um dos cenários previamente estabelecidos [Möller *et al.*, 1997];

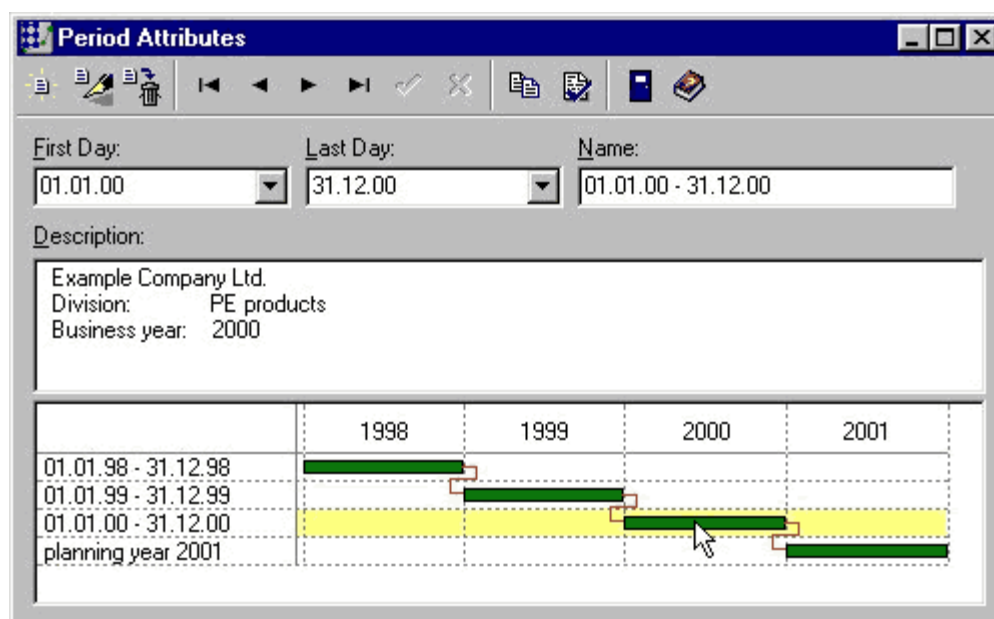
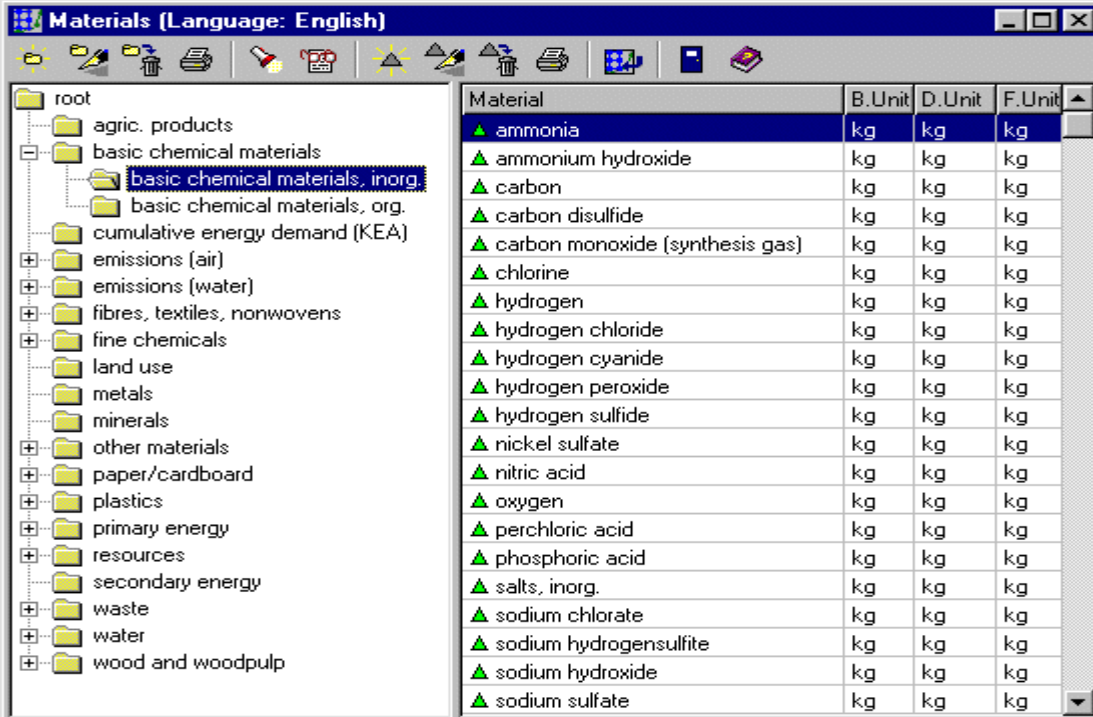


Figura 5. Exemplo de uma folha de período [Schmidt e Schorb, 1995]

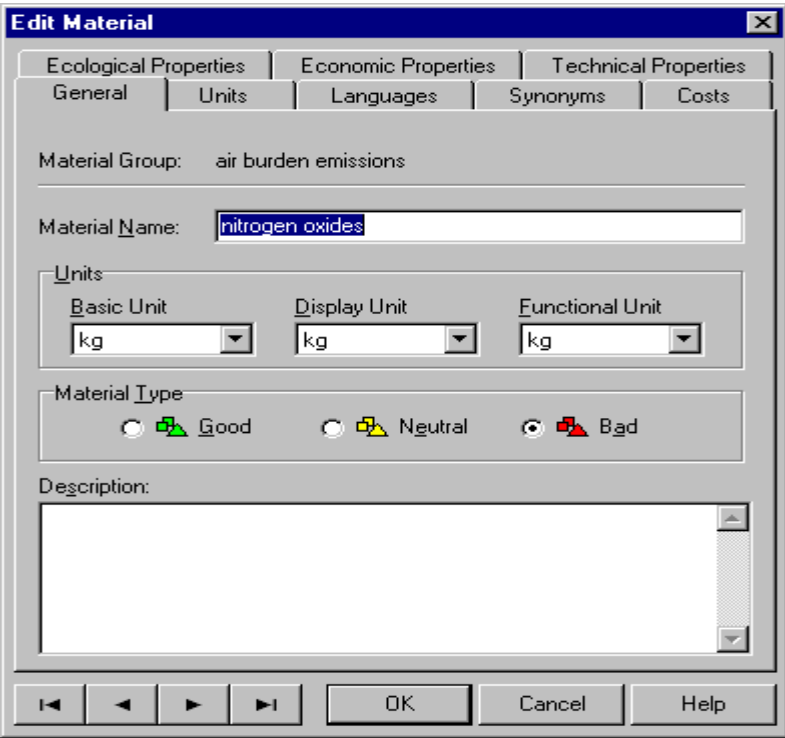
- Materiais: neste item, estrutura-se os materiais, segundo uma hierarquia, e de acordo com o tipo de aplicação dos diferentes materiais constantes na lista do *software* UMBERTO. Pode-se ainda agrupar os materiais de acordo com características comuns [Möller, 2000];



The screenshot shows a software window titled "Materials (Language: English)". On the left is a hierarchical tree structure. The "basic chemical materials, inorg." folder is selected. On the right is a table listing various materials with their units.

Material	B.Unit	D.Unit	F.Unit
ammonia	kg	kg	kg
ammonium hydroxide	kg	kg	kg
carbon	kg	kg	kg
carbon disulfide	kg	kg	kg
carbon monoxide (synthesis gas)	kg	kg	kg
chlorine	kg	kg	kg
hydrogen	kg	kg	kg
hydrogen chloride	kg	kg	kg
hydrogen cyanide	kg	kg	kg
hydrogen peroxide	kg	kg	kg
hydrogen sulfide	kg	kg	kg
nickel sulfate	kg	kg	kg
nitric acid	kg	kg	kg
oxygen	kg	kg	kg
perchloric acid	kg	kg	kg
phosphoric acid	kg	kg	kg
salts, inorg.	kg	kg	kg
sodium chlorate	kg	kg	kg
sodium hydrogensulfite	kg	kg	kg
sodium hydroxide	kg	kg	kg
sodium sulfate	kg	kg	kg

Figura 6. Exemplo de uma folha de hierarquia de materiais [Schmidt e Schorb, 1995]



The screenshot shows a dialog box titled "Edit Material". It has tabs for "Ecological Properties", "Economic Properties", and "Technical Properties". The "General" tab is active, showing fields for "Material Group" (air burden emissions), "Material Name" (nitrogen oxides), "Units" (Basic Unit: kg, Display Unit: kg, Functional Unit: kg), "Material Type" (Good, Neutral, Bad), and a "Description" text area. Navigation buttons (back, forward, OK, Cancel, Help) are at the bottom.

Figura 7. Exemplo de uma folha de material [Schmidt e Schorb, 1995]

- Balanços: neste item, após os cálculos previamente efectuados, os resultados podem ser evidenciados e editados através do comando *input/output balance*. O software UMBERTO também permite a comparação entre dois ou mais balanços, em que o total do balanço pode ser editado numa única folha [Möller e Rolf, 2000];

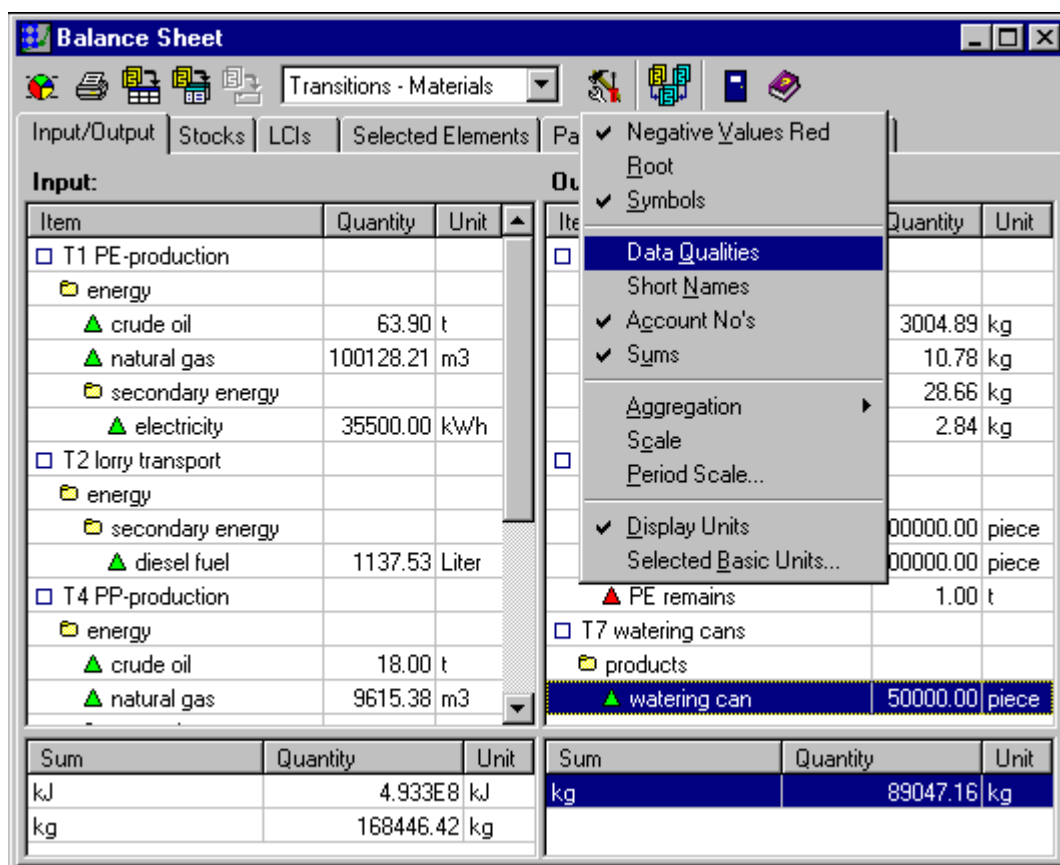


Figura 8. Exemplo de uma folha de comando *input/output* [Schmidt e Schorb, 1995]

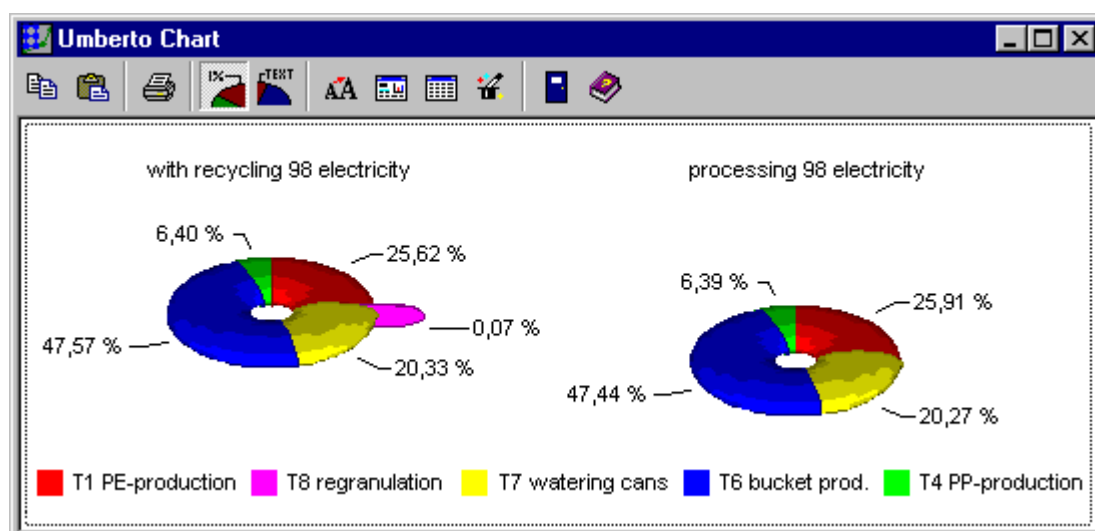


Figura 9. Exemplo de uma folha de balanço total [Schmidt e Schorb, 1995]

- Seleção do Diagrama: neste item, o utilizador selecciona o diagrama que mais se adapta ao seu estudo, formatando-o em termos de tipo de letra, cor, etc. [Möller e Rolf, 2000].

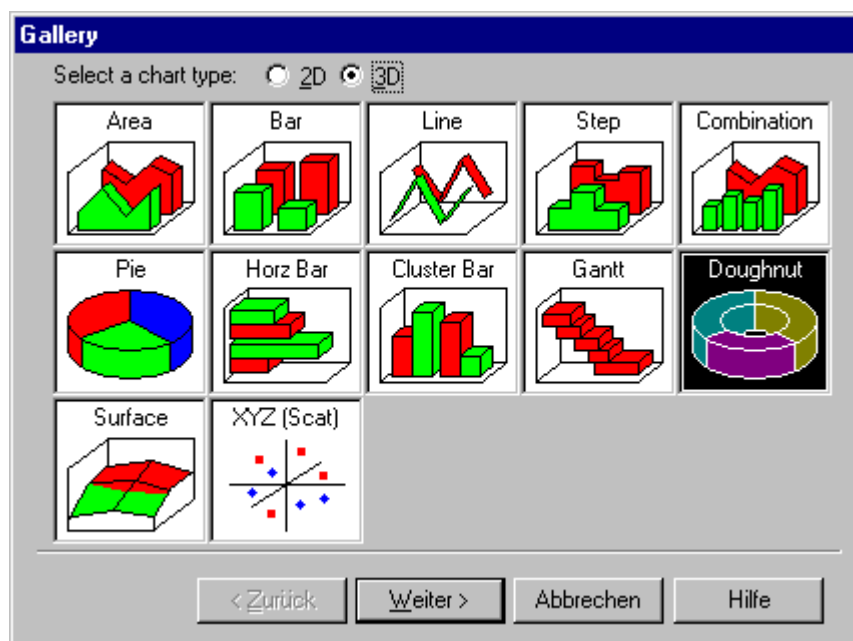


Figura 10. Exemplo de uma folha de diagramas possíveis de seleccionar [Schmidt e Schorb, 1995]

Existem muitas mais funcionalidades deste UMBERTO. Contudo, não foram utilizadas neste caso de estudo. Envolvem, por exemplo, um estudo de análise de ciclo de vida (ACV) do produto, cálculo dos custos inerentes a cada processo produtivo, estudos mais detalhado segundo exigências especificadas, etc.

Capítulo 4

Estudo de caso: Análise de consumos de energia de uma unidade fabril de produção de revestimentos cerâmicos

4.1. Caracterização da unidade fabril alvo do estudo-de-caso

As actuais instalações fabris que constituem o caso-de-estudo desta Dissertação, localizam-se no concelho de Oliveira do Bairro, dispondo de uma unidade de produção de pavimento e revestimento cerâmico com uma capacidade nominal média diária da ordem das 72 ton, em funcionamento contínuo de vinte e quatro horas, durante onze meses por ano. Esta unidade tem sido objecto de investimentos de melhoria das condições de produção e aproveitamento da capacidade instalada. Actualmente pretende-se expandir a respectiva capacidade produtiva para 170 ton diárias. A unidade fabril conta com um total de quarenta e nove trabalhadores, distribuídos pelo fluxo produtivo, pela manutenção e pelos serviços administrativos. Como foi referido, sobre esta unidade fabril incide um processo de ampliação, a que este caso-de-estudo se refere, analisando as situações de pré e pós-ampliação.

A Tabela 1 apresenta as características dos pavimentos e revestimentos cerâmicos, com a respectiva massa de produtos e massa volúmica de enfora.

Tabela 1. Formatos produzidos.

Formato	Massa dos produtos (kg)	Massa Volúmica de Enfora (kg/m³)
M20x20	1760	9072
24x24	2457	12665
20x25	2413	12438
25x33	3023	1558
25x40	2702	13928
33x49	3113	16044
33x33	2720	14021
45x45	2924	15072
33x60	3590	18504
33x60rect.	3629	18706
33x66,5	2756	14206
33x90	3972	20472
45x80	3465	17861

A unidade fabril alvo de estudo apresenta uma série de áreas de suporte e infra-estruturas, que se passam a descrever de seguida:

i) Manutenção

A função manutenção está organizada para actuar de um modo preventivo ou correctivo (aquela que é efectuada após a deficiência ou avaria se ter verificado). A manutenção preventiva sistemática apresenta-se sob a forma de lubrificações, inspecções e intervenções sistemáticas e segue um plano de manutenção predefinido no início de cada ano. A manutenção eléctrica funciona continuamente (24 sobre 24 horas). Já a manutenção industrial (geral), manutenção de máquinas e manutenção de moldes funcionam em regime de um turno.

A manutenção é assegurada pelas equipas da empresa e somente se recorre a equipas do exterior quando se trata de grandes reparações.

ii) Laboratório - Controlo de Qualidade

Nesta secção efectua-se o controlo de qualidade na recepção de matérias-primas, em curso de produção e ao produto final, de acordo com um plano de inspecções, ensaios e normalização aplicável.

iii) ETARI

A ETARI (Estação de Tratamento de Águas Residuais Industriais) é do tipo físico-químico e trata todos os efluentes líquidos de cariz industrial gerados ao longo do processo de fabrico, incluindo as lavagens.

iv) Posto de Transformação

A empresa dispõe de dois transformadores do tipo *NORMABLOCO*, um de 1000 KVA e outro de 1000 KVA. A potência eléctrica instalada é de 2000 KVA.

v) Gerador de emergência

A empresa dispõe de geradores de 400 KVA, que recorrem ao consumo de gasóleo em caso de falha eléctrica.

vi) Rede de ar comprimido

A empresa dispõe de dois compressores, com potências de 50 e 55 kW. Associada à rede de ar comprimido, existe um sistema de separador hidrocarbonetos que recebe a água das purgas.

Na fase pós-projecto (também designada “fase pós-ampliação”, correspondente à ampliação da capacidade produtiva da actual unidade industrial utiliza-se presentemente o mesmo tipo de processo de fabrico usado na fase pré-projecto, recorrendo-se apenas a melhorias e adaptações

de âmbito tecnológico e ambiental. Assim, as alterações introduzidas nesta ampliação da unidade industrial (fase pós-ampliação) são: a introdução de mais uma linha produtiva de material cerâmico, que tem reflexos na quantidade de matérias consumidas e do produto final produzido, bem como de mais uma linha paralela para a produção de grés porcelânico

No processo de grés porcelânico (fase pós-ampliação), foi mantida a aquisição de pó de grés porcelânico externamente, o qual possuirá um sistema de abastecimento totalmente independente do pré-existente (dada a sua composição química diferente), que consiste numa segunda tolva colectora de pó transportado por camiões, sendo enviado para os novos silos de armazenamento por um sistema de transporte por alcatruzes. Este pó, de cor neutro, alimentará os silos das torres tecnológicas, onde se poderá proceder à sua coloração a seco através da incorporação e mistura de corantes previamente definidos. Nestas torres também poderão ser preparados outros produtos para a prensagem, de forma a obter uma maior versatilidade e riqueza em termos de variedade estética.

O actual processo gera emissões difusas constituídas por poeiras resultantes da movimentação das matérias-primas. A secção ficará, no entanto, dotada de um novo sistema de aspiração encaminhado para um igualmente novo sistema de despoeiramento. Já a prensagem do grés porcelânico será realizada em duas novas prensas de elevada tonelagem, por forma a garantir as especificações técnicas, podendo ser abastecidas com pó neutro, pós corados e restantes aplicações processadas nas torres, com os equipamentos específicos, nomeadamente de dupla carga. Para versatilização e racionalização do processo de prensagem em termos de formatos, está previsto no futuro um sistema de corte em cru numa das prensas com o qual, partindo de um formato único de grande dimensão, se podem obter outros formatos diferentes por corte, prevendo-se que ocorra um processo de mudança de ferramenta, que é extremamente moroso e complicado em termos técnicos.

A fase seguinte do processo de fabrico, a secagem, decorre em novos secadores verticais, processo no qual se faz a extracção de humidade necessária à conformação e se impõe a temperatura adequada à vidragem, fase em que se aplicam sobre as peças prensadas e secas produtos muito diversificados que permitem um sem número de soluções cromáticas e decorativas. Os dois novos secadores serão alimentados a gás natural e a temperatura de

operação será semelhante à dos actuais secadores, ou seja, 180-200°C, e serão dotados de duas chaminés, uma para cada fonte fixa.

As linhas de vidragem estarão equipadas com os meios variados de aplicação de vidrados, nomeadamente, *sprays*, escovados e tintas serigráficas, por via húmida, e aplicação de pós e granilhas, por via seca. Sendo três as linhas de vidrar, uma destina-se exclusivamente a testes e preparação dos produtos a entrar em produção.

A cozedura será executada num novo forno de rolos de monocanal, com sistemas de queima de elevada eficiência térmica e com sistema de recuperação de ar quente de última geração, com curvas adequadas aos vários formatos que se pretende fabricar, permitindo, após este processo, que os produtos adquiram a sua forma definitiva, quer em termos físicos quer em estéticos. Todos os sistemas de verificação e controlo do produto cozido estarão instalados junto ao forno para que rapidamente se verifique e se actue em caso de necessidade. O forno será alimentado a gás natural e operará a temperaturas que rondam os 1200°C. Os produtos serão novamente armazenados em vagonas até à sua última etapa de fabrico, a escolha e embalagem.

As máquinas de escolha estarão equipadas com todos os meios de selecção, quer visual quer de características físicas, permitindo diversos tipos de embalagem e paletização, consoante o destino dos produtos, armazém de produto acabado ou rectificação. Toda a movimentação será realizada por veículos automáticos, rentabilizando o sector. Após o controlo de qualidade por amostragem, os produtos poderão ser automaticamente cintados e plastificados para seguirem para o armazém de produto acabado ou, no caso de produtos para rectificação, serão somente plastificados. Após a aprovação do lote, este fica disponível para passar ao armazém, no qual são preparadas e efectuadas as cargas para expedição.

Na Tabela 2 é evidenciado a produção efectiva nos últimos cinco anos, bem como as quantidades de pó e vidrados consumidos. Conforme se pode observar, a produção tem vindo a aumentar, tendo atingido um pico em 2005 e verificando-se um decréscimo em 2006, devido a um incremento significativo da produção de formatos de grandes dimensões, de menores cadências produtivas. A produção aumentou ao longo destes últimos cinco anos, bem como a quantidade de pó e vidrados consumidos, o que revela que a unidade fabril se encontra em fase de expansão de encomendas, garantindo desta forma uma boa representatividade no mercado nacional português. Na Tabela 3, consta, de um modo resumido, a listagem de equipamentos existentes actualmente, e que passará a constar na fase pós-ampliação, nomeadamente aquando a ampliação das instalações fabris existentes.

Tabela 2. Evolução da produção (2001-2006)

Ano	Pó (ton)	Vidrados (ton)	Produtos (ton)
2001	3.560	272	3.386
2002	18.291	1.353	17.602
2003	17.607	1.327	16.147
2004	15.156	1.284	14.730
2005	20.623	1.453	19.550
2006	20.020	1.442	18.331

Tabela 3. Lista de equipamento produtivo principal

Fase do Processo	Designação	
	Pós-Ampliação	Pré-Ampliação
Armazenamento de pó	1 Tremonha de recolha de pó	1 Tremonha de Recolha de Pó
	1 Sistema de transporte de pó por alcatruzes	1 Propulsor
	Silos de pó atomizado	Silos de pó atomizado
	Peneiração e desferrização de Pó	Peneiração e desferrização de pó
	1 Torre tecnológica para a coloração a seco	Inexistente
Prensagem	Despoeiramento (ampliação)	Despoeiramento
	4 Prensas multiproduto	2 Prensas multiproduto
Secagem	Sistema de Dupla Carga	Inexistente
	4 Secadores verticais	2 Secadores verticais
Linhas de Vidragem	Aplicações diversas a húmido	Aplicações diversas a húmido
	Aplicações diversas a seco	Inexistente
	Aplicações serigráficas	Aplicações serigráficas
	Bombas e agitadores de vidro	Bombas e agitadores de vidro
	2 Despoeiramentos (a húmido)	1 Despoeiramento (a seco e sem chaminé)
	Inexistente	Máquina pré-corte-pastilha
Cozedura	Máquina de Carga	Máquina de Carga
	2 Fornos de rolos monoestrato	1 Forno de rolos monoestrato
	1 Máquina de carga e descarga do forno	1 Máquina de carga e descarga do forno
Escolha	1 Máquina de descarga	1 Máquina de descarga
	Mesas de escolha visual	Mesas de escolha visual
	Máquinas de selecção automática	Máquinas de selecção automática
	Linha automática de cintagem de caixas	Linha automática de cintagem de caixas
	Embaladora automática	Embaladora automática
	Paletizador automático	Paletizador automático
	Veículos automáticos de movimentação de paletes vazias e cheias	Inexistente
Outros	Máquina automática de cintagem e plastificação de paletes	Máquina automática de cintagem e plastificação de paletes
	Veículos automáticos de movimentação de vagonas	Veículos automáticos de movimentação de vagonas
	Sistema de tratamento de efluentes gasosos	Inexistente
	Máquina de corte cru	Inexistente
	Empilhadores auto	Empilhadores auto
	Reforço sector de moagem	----

Constata-se que na fase de pós-ampliação da unidade fabril, ocorre um incremento significativo de equipamentos ao nível de todo o processo produtivo. Assim, no armazenamento do pó consta

actualmente uma tremonha de recolha de pó, um propulsor, silos de pó atomizado, peneiração e desferrização. No projecto de ampliação (fase pós-ampliação), para além de todos estes equipamentos, constará ainda uma torre tecnológica para efectuar a coloração a seco. Consequentemente, o sistema de despoeiramento instalado irá sofrer uma ampliação, devido ao facto de o novo processo produtivo de grés-porcelânico gerar emissões difusas constituídas por poeiras, que requiere um novo sistema de aspiração que será encaminhado para um novo sistema de despoeiramento.

No sector da prensagem, ocorrerá um aumento do número de prensas multiproduto. Desta forma, passa-se de duas prensas multiproduto para quatro prensas multiproduto, dotadas de sistema de dupla carga na fase pós-ampliação. No sector da secagem, ocorrerá um incremento de dois secadores verticais na fase pós-ampliação. No sector das linhas de vidragem, ocorrerão duas alterações significativas na fase pós-ampliação, com a introdução de um despoeiramento a húmido, e a supressão de máquina pré-corte-pastilha do processo de vidragem. No sector da cozedura, na fase pós-ampliação ter-se-á mais um forno de rolos monoestrato. No sector da escolha, a alteração mais significativa na fase pós-ampliação, será a introdução de veículos automáticos de movimentação de paletes vazias e cheias, que não existe na fase de pré-ampliação. Porém, todos os restantes equipamentos mantêm-se inalterados em relação aos existentes na fase de pré-ampliação (uma máquina de descarga, mesas de escolha visual, máquinas de selecção automática, linha automática de cintagem de caixas, embaladora automática, paletizador automático e máquina automática de cintagem e plastificação de paletes). Existem ainda algumas alterações ou incrementos de equipamentos ao nível de todo o processo produtivo na fase de pós-ampliação, dos quais se salientam: a introdução de um sistema de tratamento de efluentes gasosos, a introdução de uma máquina de corte e o reforço do sector de moagem.

Em suma, pode-se verificar através da análise da Tabela 3 que a ampliação da unidade fabril traduz-se num incremento de equipamentos novos, de forma a garantir uma maior eficiência do sistema e do novo processo produtivo do grés-porcelânico.

Salienta-se que as instalações fabris deste estudo de caso resultam de um projecto de ampliação designado como fase pós-ampliação, estando em fase de projecto de execução à data de elaboração desta Dissertação.

O projecto de ampliação da infraestrutura da unidade fabril será efectuado em quatro fases:

- Numa primeira fase de ampliação da unidade fabril, efectua-se a elevação dos telhados (zona de recepção de pó atomizado e prensas do pavilhão);

- Numa segunda fase de ampliação da unidade fabril, efectua-se a construção de fundações para as prensas e secadores, bem como a instalação dos equipamentos anteriormente mencionados;

- Numa terceira fase de ampliação da unidade fabril, efectua-se a edificação de cerca de 500 m² adicionais para dois pavilhões (um para a colecta de pó atomizado e outro para armazenamento de material de escolha), com pouco envolvimento em termos de afectação do solo pois consistiu somente na fixação de uma estrutura metálica.

- Numa quarta e última fase de ampliação da unidade fabril efectua-se a colocação dos equipamentos nas instalações e o arranque da sua laboração.

Relativamente ao equipamento nuclear da instalação, ou seja, o forno, considera-se, numa perspectiva económica, que o correspondente período de vida é de aproximadamente de 10 anos. Após este período, o forno deverá ser alvo de um investimento destinado à respectiva modernização.

Importa ainda salientar que durante o período de ensaios se procedeu a testes em vazio e em carga de equipamentos, quer isoladamente quer em simultâneo, com o objectivo de se avaliar o comportamento dos seus equipamentos e capacidade para se atingirem as prestações especificadas e garantir o seu funcionamento.

Tal como já referido anteriormente, na fase de pós-ampliação, a produção diária aumentou, tendo-se no entanto tornado mais restrito a gama de formatos produzida. Como se pode visualizar na Tabela 4, passou-se a ter uma menor variedade de formatos, mas, em contrapartida, ocorreu um aumento da massa e da massa volúmica de enfora dos produtos.

Tabela 4. Gama de produtos a fabricar (pós-ampliação)

Formato	Massa dos produtos (kg)	Massa Volúmica de enfora (kg/m3)
30x30	3402	14.664
45x45	4158	17.992
60x60	3975	17.134
60x120	3657	15.763
45x90	4389	18.916

As principais matérias-primas envolvidas no fabrico de revestimentos encontram-se quantificadas na Tabela 5:

Tabela 5. Matérias-primas e produto fabricado (2005)

Material	Entradas (ton/ano)	Saídas (ton/ano)
Pó Atomizado	20.623	----
Vidrados	1.453	----
Revestimento Cerâmico	----	19.550

De referir que as matérias-primas são adquiridas a fornecedores externos, possuindo a classificação de NA (não perigosos), com excepção das massas lubrificantes e óleos usados e alguns vidrados que possuem a classificação de perigoso para o ambiente ou ainda de tóxico/nocivo.

Outros materiais análogos subsidiários à produção, são também utilizados conforme se pode visualizar na Tabela 6.

Tabela 6. Outros materiais: balanço mássico

Artigos	Entradas	Saídas
Caixas de Cartão (unid)	1.000.000	960.000
Cartão Canelado (kg)	9.700	9.650
Cera Protecção (kg)	2.000	1.970
Cintas Polipropileno (m)	600.000	560.000
Cola Caixas (kg)	1.200	1.100
Mangas Retráctil (kg)	20.200	20.100
Sacos Retrácteis (unid)	8.200	7.750
Paletes de Madeira (unid)	15.500	15.300
Rolos Cerâmicos (unid)	250	250
Rolos Silicone (unid)	20	10
Óleos Prensas (L)	1.000	1.000

Os principais recursos consumidos na unidade fabril, na fase da pré-ampliação, encontram-se descritos na Tabela 7.

Tabela 7. Consumo de Recursos (Água e Energia): balanço mássico

Recurso	Unidades	Consumo (2005)
Gás Natural	m ³ N	1.788.838
Gasóleo	litros	300
Energia Eléctrica	kWh	2.270.691
Água	m ³	900

Através da visualização da Tabela 7, constata-se que os principais fornecimentos e serviços externos são a electricidade e o gás natural, utilizados no funcionamento dos equipamentos e sistemas para processamento térmico dos materiais e produtos (secagem e cozedura). Também se utiliza o gás propano (garrafas) nos equipamentos de movimentação de cargas e transporte e gasóleo no grupo de emergência. O projecto de ampliação provocou ainda o consumo das mesmas fontes de energia.

Em seguida é apresentada a Tabela 8, um resumo do balanço mássico do consumo de recursos da unidade fabril:

Tabela 8. Consumo de Recursos (Água e Energia) – Balanço Mássico resumo

Descrição	Unidades	2005	2006
Pó Atomizado	ton	20.623	22.020
Vidrados	ton	1.453	1.442
Gás Natural	m ³ N	1.788.838	1.869.453
Gasóleo	Litros	300	400
Energia Eléctrica	kWh	2.270.691	2.380.980
Consumo de Água	m ³ N	900	1.000
Material de Embalagem			
Paletes	uni	15.300	15.738
Plástico Extensível	kg	20.100	22.097
Cintas Plásticas	m ³ N	560.000	666.000
Uniões de Cintas	Uni	---	---
Perfil L (cartão)		---	---
Base palete (cartão)		---	---
Embalagem de cartão	Unid.	960.000	1.093.588
Óleos	Litros	1.000	1.000
Massas Lubrificantes	kg		
Rolos Refractários	kg	250	235
Telas/Rolos Serigráficos	kg		
Revestimento (Produto Acabado)	ton	19.550	18.331
Caco Cozido	ton	*	*
Efluentes Líquidos	m ³	900	900
Resíduos	ton	9.800	10.100

Com a ampliação das instalações fabris alvo do presente trabalho, não se verificou aumento da potência eléctrica, uma vez que a instalação tinha sido projectada para a concretização da instalação desta segunda linha de fabrico. Assim, a potência instalada é de 2000 kVA.

4.2. Procedimento experimental

O procedimento experimental adoptado para este estudo de caso consistiu em duas fases principais. Numa primeira fase, procurou-se efectuar um levantamento dos gastos energéticos inerentes a todo o processo de produção da unidade fabril, com o auxílio dos técnicos da manutenção da empresa. Somente se conseguiu recolher dados relativos a consumos energéticos por sector, na fase de pré-ampliação da unidade fabril e na fase de pós-ampliação da unidade fabril. Este levantamento pode ser visualizado nas Tabelas 10 e 11. Nestas tabelas, encontram-se

descritos os consumos de energia eléctrica inerente a cada uma das principais fases do processo produtivo, na fase de pré-ampliação e pós-ampliação da unidade fabril.

Tabela 9. Consumo de energia por sectores (pré-ampliação)

Sector /Processo fabrico	Consumo Energia Eléctrica (kWh)	Forma de Energia Consumida
Recepção do Pó Atomizado		
Transporte Pó p Prensas		Eléctrica
Prensas 1-2 (2)	203,50	
Secadores 1-2 (2)		Eléctrica e Gás Natural
Despoiramento	35,20	
Moinhos	58,70	
Preparação de Vidros	3,15	
Linha Vidrar 1 e Máq. Carga 1		
Linha Vidrar 2		Eléctrica
Linha Vidrar 3 e Máq. Carga 2 (s/ Máq. Corte Seco)		
Linha Vidrar 3 e Máq. Carga 2 (c/ Máq. Corte Seco)		
Despoiramento Máq. Corte Seco		
Máq. Corte Água		
Secador Pré Forno	10,75	Eléctrica e Gás Natural
Forno 1	55,59	
Tgv's, Máq. Entrada Forno1, Mesa saída Forno1,		
Máq. Carga Forno1	9,35	Eléctrica
Máq. Descarga 1-2, Escolhas 1-2		
Paletização 1-2	19,56	
Plastificação		Eléct. e Gás Natural
Bombas Água	14,50	
	17,54	
Compressores	28,63	
	41,23	
ETAR	3,10	Eléctrica
Laboratório	5,50	
Oficinas	2,15	
Iluminação Fabril e Exterior	59,95	

Tabela 10. Consumo de energia por sectores (pós-ampliação)

Sector/ Processo de fabrico	Consumo Energia Eléctrica (kWh)	Forma de Energia Consumida
Recepção do Pó Atomizado Monoporosa		
Transporte Pó p Pressas Monoporosa	203,50	Eléctrica
Pressas 1-2		
Secadores 1-2		Eléctrica e Gás Natural
Recepção do Pó Atomizado Porcelanico	6,87	
Torre Tecnológica	22,46	Eléctrica
Sistema arrefecimento Óleo		
Pressas 3,4	171,54	
Secadores 3 - 4	145,75	Eléctrica e Gás Natural
Despoiramento 1 - 2	129,13	
	24,30	
Moinhos	17,20	Eléctrica
	17,20	
Preparação de Vidros	3,15	
Linha Vidrar 1-2, Máq. Carga 1-2, Máq. Corte 1-2	43,56	
Linha Vidrar 3-4, Máq. Carga 3-4 e HidroFiltro 1-2	140,62	
Secador Pré Forno e Depurador Fumos	27,74	Eléctrica e Gás Natural
Forno 1	55,59	
Forno 2	58,58	
Tgv's1-2-3-4-5, Máq. Entrada Forno1-2, Mesa saída Forno1-2, Máq. Carga Forno1-2	13,87	Eléctrica
Máq. Descarga 1-2-3-4		
Escolhas 1-2-3-4	25,78	Eléctrica
Paletização 1-2-3-4		
Plastificação		Eléctrica e Gás Natural
Bombas Água	18,89	
	GA 50 VSD	17,54
Compressores	GA 55	28,63
	Secador ar Comprimido	41,23
ETAR	3,10	
Laboratório	5,50	Eléctrica
Oficina 1	2,15	
Oficina 2	7,85	
Iluminação Fabril Interior e Exterior	24,70	
Tomadas Eléctricas	56,35	

Nesta primeira fase, foi necessário um acompanhamento dos técnicos da manutenção aos vários pontos de recolha de informação existentes na empresa. Em cada sector existe um quadro eléctrico, no qual se pode retirar os valores de kWh consumidos ao longo do dia. Os valores foram retirados ao fim de um mês, tendo-se posteriormente realizado uma média aritmética destes ao fim de 6 meses. Este procedimento foi realizado na fase de pré-ampliação bem como na fase de pós-ampliação. Os dados recolhidos eram mensalmente introduzidos numa base de dados (folha de Microsoft Excel) da equipa da manutenção. Foi através desta base de dados que se conseguiu obter a média aritmética para seis meses de consumo de energia por sector, como também sumariar esta informação em forma de tabela.

Numa segunda fase, aplicou-se o *software* UMBERTO para testar a aplicação do mesmo na optimização energética do processo produtivo cerâmico. Pretendeu-se somente estudar de que forma a utilização deste programa no sector cerâmico iria conduzir a uma análise de consumo de energia eléctrica, bem como à implementação de medidas de redução e optimização de energia. Nesta segunda fase, procurou-se introduzir os dados previamente recolhidos na primeira fase na base de dados do *software* UMBERTO, de forma a conseguir obter os diagramas de *Sankey*. Estes diagramas não são mais do que diagramas circulares, nos quais é possível visualizar os consumos de energia por sector, estando estes diferenciados por cor de forma a facilitar a análise dos resultados finais. Não foi possível elaborar os balanços mássicos do sistema, através da aplicação do *software* UMBERTO, uma vez que não foram fornecidos os dados necessários à realização destes mesmos balanços mássicos, por questões de confidencialidade da empresa. Para se conseguir elaborar balanços mássicos teriam que ter sido fornecidos mais dados relativos a consumos de matéria-prima, quantidades de resíduos gerados, consumos de água, consumos de gás natural, os quais permitiriam, por sector, estabelecer balanços mássicos, com as definições concretas de entradas e saídas. Convém contudo referir que, na ampliação da unidade fabril, ocorrerá uma reestruturação dos vários sectores, com introdução de novas máquinas, novos instrumentos e de novas tecnologias. Consequentemente, os gastos energéticos associados a cada sector crescerão significativamente.

É de salientar que a ampliação desta empresa de cerâmica terá como linha de orientação e desenvolvimento estratégico a produção diferenciada de produtos de revestimento, com vista à

consolidação da posição de liderança no mercado. O reforço do potencial tecnológico, consubstanciado na diferenciação de produtos, será efectuado através da introdução de novos produtos (grés porcelânico), bem como através da garantia da imagem de qualidade dos produtos actualmente fabricados. Assim, será realizada a ampliação da capacidade produtiva através da introdução de uma nova linha de fabrico de produtos em grés porcelânico nas instalações existentes. Este projecto permite complementar as gamas de produtos fabricados (actualmente de revestimento cerâmico em monoporosa), conferindo de forma inovadora uma nova imagem como factor de diferenciação e de valorização.

Este investimento tem impactos directos e indirectos:

- a) Aumento do valor acrescentado e da produtividade;
- b) Redução do consumo específico (ponderado com produção) de energia e melhoria do desempenho ambiental (introdução de filtro de fluoretos, ou seja, da melhor técnica disponível (MTD) do sector);
- c) Implementação de um Sistema de Gestão Integrado da Qualidade, Ambiente, Saúde e Segurança no Trabalho, de acordo com as normas ISO em vigor;
- d) Melhoria das condições de trabalho e redução de riscos industriais.

4.3. Resultados da caracterização do processo produtivo

As Tabelas 11 e 12 reflectem os resultados obtidos na primeira fase do procedimento experimental, podendo-se visualizar os consumos de energia eléctrica por sectores na fase de pré-ampliação e pós-ampliação da unidade fabril. Na recepção de pó ocorreu um incremento de 6,87 kWh de consumo de energia eléctrica na fase de pós-ampliação. Esta situação ocorreu devido ao facto de na fase de ampliação da unidade fabril ter sido introduzido o pó atomizado para fabrico de porcelânico. Assim, para além de se continuar a recepcionar o pó atomizado para fabrico de monoporosa, passou-se também a recepcionar o pó atomizado para fabrico de porcelânico. Como tal, teve de se redireccionar este pó para um novo silo e, consequentemente, para um novo tapete de transporte. Tudo isto implicou um acréscimo de energia, derivado não só da divisão de pós de composições diferentes, mas também a toda a parte eléctrica inerente ao

processo de recepção do pó e transporte. Implicou também um novo quadro eléctrico, um novo comando para o tapete de transporte e uma nova computadorização. Este processo de recepção e transporte de pó requereu determinados equipamentos específicos de controlo e monitorização, que consomem bastante energia eléctrica. Daí o elevado valor de consumo de energia eléctrica registada neste sector. Consequentemente, o processo de ensilagem também teve um acréscimo de consumo de energia eléctrica, uma vez, que ao aumentar-se a tonelagem de pó recepcionado, consequentemente aumentou-se o armazenamento do mesmo nos respectivos silos, provocando desta forma um gasto de energia eléctrica maior nos equipamentos computadorizados que monitorizam este acondicionamento de pó nos silos. É de salientar que no processo de ensilagem ocorreu um incremento de consumo de energia eléctrica de 93,93 kWh na fase de pós-ampliação. Na prensagem, o aumento de consumo de energia eléctrica na fase de pós-ampliação foi de 171,55 kWh. Este incremento significativo teve origem no aumento do número de prensas existente na fase de pré-ampliação. Passou-se a ter quatro prensas na fase de pós-ampliação, quando inicialmente apenas constavam duas prensas do projecto inicial. Este incremento de prensas, consequentemente, aumentou o consumo de energia para o sector da prensagem. O mesmo se passou com a secagem, tendo ocorrido um aumento do número de secadores (passou-se de dois secadores para quatro secadores), que originou um aumento do consumo de energia eléctrica de 171,55 kWh, na fase de pós-ampliação.

Inerente a todo este aumento de equipamentos e, consequentemente, aumento de produção, está o transporte de vagonas. Estas passaram a efectuar mais transportes de produto entre processos, o que consequentemente originou maior número de viagens, estando inerente um incremento de consumo de energia na mobilização dos TGVs. O incremento ocorrido no consumo de energia eléctrica para o transporte de vagonas foi de 4,52 kWh na fase de pós-ampliação.

No forno, ocorreu um aumento de consumo de energia eléctrica de 58,58 kWh na fase de pós-ampliação. Tal facto deveu-se ao incremento do número de fornos existentes na unidade fabril. Na fase de pré-ampliação somente existia apenas um forno, enquanto que na fase de pós-ampliação passou a haver mais outro forno. O consumo de energia eléctrica duplicou, dada a existência de mais um forno. No entanto, é de salientar o facto de que apesar da fonte de energia do forno ser maioritariamente gás natural há, no entanto, todo um conjunto de painéis eléctricos

inerentes ao funcionamento deste, nomeadamente ao nível controlo de curvas de cozedura e que justificam o elevado consumo de energia eléctrica devido ao forno.

Na escolha e embalagem, ocorreu um incremento de consumo de energia eléctrica de 6,22 kWh na fase de pós-ampliação. Este aumento teve a sua origem no aumento do número de linhas de escolha, bem como no aumento do número de paletizadoras, tendo-se passado de duas linhas de escolha e de duas paletizadoras na fase de pré-ampliação, para quatro linhas de escolha e quatro paletizadoras na fase de pós-ampliação. No entanto, verifica-se que o incremento de consumo de energia eléctrica não duplicou, dado que grande parte dos quadros eléctricos e computadores associados às linhas de escolha e às paletizadoras na fase de pré-ampliação foram aproveitados na fase de pós-ampliação, evitando desta forma a implementação de novos quadros eléctricos e de computadores que poderiam incrementar o consumo de energia eléctrica significativamente.

Na embalagem, ocorreu um incremento de consumo de energia eléctrica de 70,03 kWh na fase de pós-ampliação, ocasionada pela laboração de um maior número de horas da máquina automática de cintagem e plastificação de paletes. Consequentemente, o consumo de energia eléctrica aumentou na embalagem, devido a um acréscimo temporal da operacionalidade da máquina automática de cintagem e plastificação de paletes.

Tabela 11. Consumo de energia, potência instalada e forma de energia utilizada por sectores (pré-ampliação)

Sector /Processo fabrico	Potência Eléctrica Instalada (kW)	Período de Trabalho (h)	Consumo de Energia Eléctrica (kWh)	Forma de Energia Consumida
Recepção do Pó Atomizado	3,90			
Transporte Pó p Prensas	9,70	16	203,50	Eléctrica
Prensas 1-2 (2)	216,00			
Secadores 1-2 (2)	116,00			Eléctrica e Gás Natural
Despoiramento	40,00		35,20	
Moinhos	81,00		58,70	
Preparação de Vidros	17,50	8	3,15	
Linha Vidrar 1 e Máq. Carga 1	43,50			Eléctrica
Linha Vidrar 2		16		
Linha Vidrar 3 e Máq. Carga 2 (s/ Máq. Corte Seco)				
Linha Vidrar 3 e Máq. Carga 2 (c/ Máq. Corte Seco)				
Despoiramento Máq. Corte Seco				
Máq. Corte Água				
Secador Pré Forno	30,00	16	10,75	Eléctrica e Gás Natural
Forno 1	113,00	24	55,59	
Tgv's, Máq. Entrada Forno1, Mesa saída Forno1, Máq. Carga Forno1	30,00		9,35	Eléctrica
Máq. Descarga 1-2, Escolhas 1-2	19,00			
Paletização 1-2	12,00	16	19,56	
Plastificação	15,00			Eléct. e Gás Natural
Bombas Água	37,50		14,50	
			17,54	
Compressores	108,00	24	28,63	
			41,23	
ETAR	20,00		3,10	Eléctrica
Laboratório	15,00	16	5,50	
Oficinas	10,00		2,15	
Iluminação Fabril e Exterior	55,00		59,95	

Tabela 12. Consumo de energia, potência instalada e forma de energia utilizada por sectores (pós-ampliação)

Sector/ Processo de fabrico	Potência Eléctrica Instalada (kW)	Potência Térmica Instalada (kW)	Período de Trabalho (h)	Consumo de Energia Eléctrica (kWh)	Consumo de Gás Natural (m³/h)	Forma de Energia Consumida
Recepção do Pó Atomizado Monoporosa	4,00					
Transporte Pó p Prensas Monoporosa	10,00		16	203,50		Eléctrica
Prensas 1-2	216,00					
Secadores 1-2	116,00	2320,00			25,40	Eléctrica e Gás Natural
Recepção do Pó Atomizado Porcelanico	16,00			6,87		
Torre Tecnológica	82,00			22,46		Eléctrica
Sistema arrefecimento Óleo	22,00		16			
Prensas 3,4	490,00			171,54		
Secadores 3 - 4	280,00	4068,00		145,75	111,40	Eléctrica e Gás Natural
Despoiramento 1 - 2	110,00			129,13		
Moinhos	81,00			24,30 17,20 17,20		Eléctrica
Preparação de Vidros	17,50		8	3,15		
Linha Vidrar 1-2, Máq. Carga 1-2, Máq. Corte 1-2	175,00		16	43,56		
Linha Vidrar 3-4, Máq. Carga 3-4 e HidroFiltro 1-2	185,00			140,62		
Secador Pré Forno e Depurador Fumos	70,00	290,00		27,74		Eléctrica e Gás Natural
Forno 1	113,00	5600,00		55,59		
Forno 2	176,00	5040,00	24	58,58	194,50	
Tgv's 1-2-3-4-5, Máq. Entrada Forno1-2, Mesa saída Forno1-2, Máq. Carga Forno1-2	75,00			13,87		Eléctrica

(Cont.) Tabela 12. Consumo de energia, potência instalada e forma de energia utilizada por sectores (pós-ampliação)

Sector Processo Fabrico	Potencia Eléctrica Instalada (kW)	Potencia Térmica Instalada (kW)	Período de Trabalho (h)	Consumo de Energia Eléctrica (kWh)	Consumo de Gás Natural (m³/h)	Forma de Energia Consumida
Máq. Descarga 1-2-3-4	19,00					Eléctrica
Escolhas 1-2-3-4	75,00		16	25,78		
Paletização 1-2-3-4	48,00					
Plastificação	15,00	11,00				Eléctrica e Gás Natural
Bombas Água	37,50			18,89		Eléctrica
Compressores	GA 50 VSD	50,00		17,54	(1)	
	GA 55	55,00	24	28,63	(2)	
	Secador ar Comprimido	3,00		41,23	(3)	
ETAR		20,00		3,10		
Laboratório		15,00	16	5,50		
Oficinas		10,00		2,15		Eléctrica
				7,85	(4)	
Iluminação Fabril Interior e Exterior						
Tomadas Electricas	85,00			24,70	(5)	
				56,35	(6)	

Notas: Todos os valores de consumos de energia são valores médios

(1) Sem propulsor de pó

(2) com 1 Propulsor de pó

(3) com 2 Propulsor de pó

(4) iluminação presença, sector dos moldes, silos, prensas, secadores e máq. Rectificar rolos

(5) iluminação noturna 0h-7h

(6) iluminação unidade fabril em pleno funcionamento

Verão 20h - 0h

Inverno 16h - 0h

4.3.1 Análise de fluxos de materiais na unidade fabril -aplicação de software UMBERTO

A fim de se analisar o fluxo de materiais na unidade fabril alvo de estudo-de-caso, começou-se por definir o Diagrama de *SANKEY* em relação ao processo produtivo. Na Figura 11, torna-se evidentes os fluxos de entradas e saídas de material nos vários processos do estudo-de-caso.

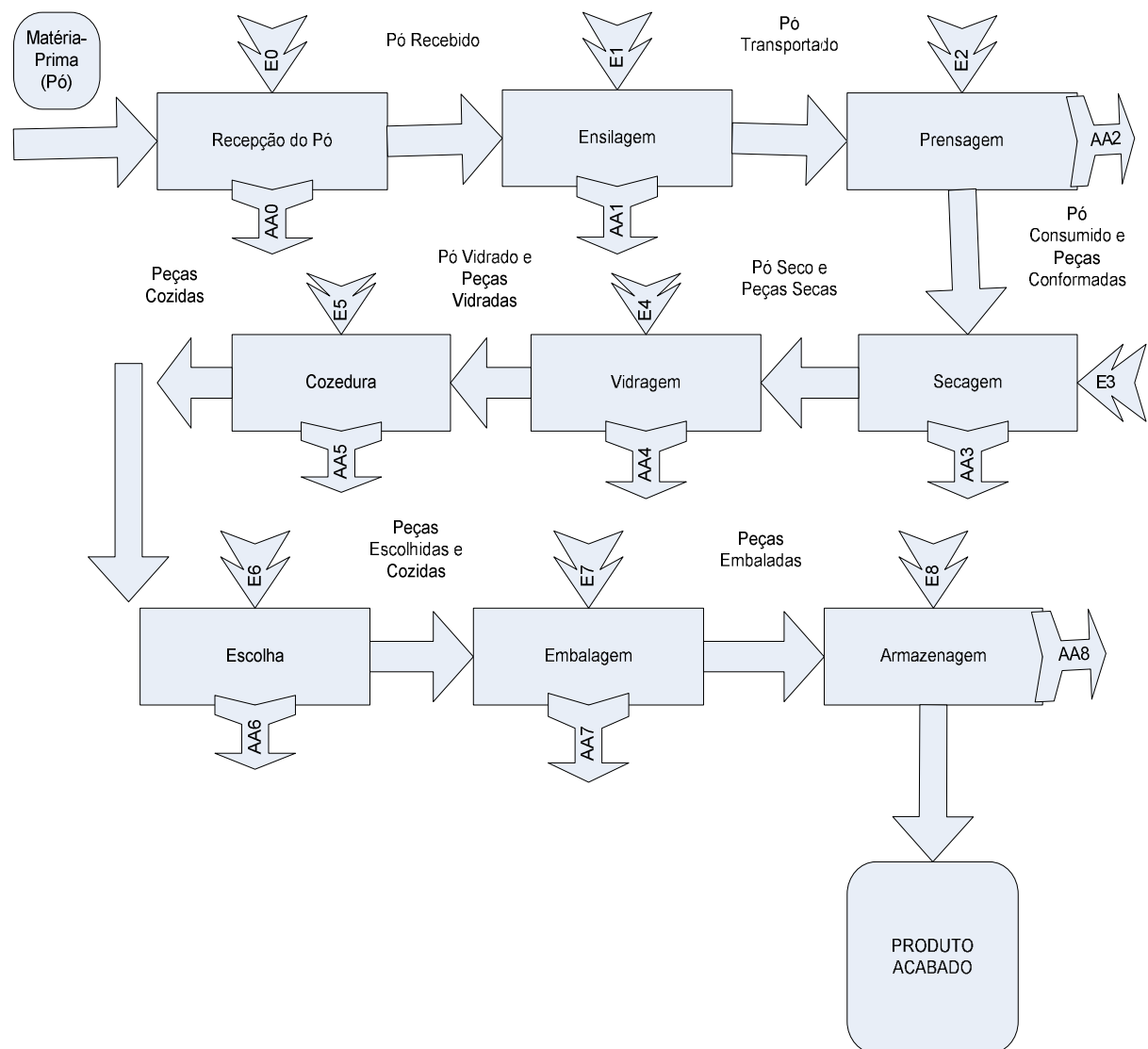


Figura 11. Diagrama de *SANKEY*.

Através da análise da Figura 11 (diagrama de *SANKEY* gerado pelo *software* UMBERTO), é possível visualizar os fluxos de materiais, de energia e de aspectos ambientais existentes entre os diferentes processos. Como se consegue observar na Figura 11, verifica-se um fluxo contínuo de energia, de matérias e de aspectos ambientais, como seria de esperar no processo cerâmico.

Em todos os processos cerâmicos, é possível visualizar entradas (matérias-primas, produtos cozidos, produtos embalados, energia), e saídas (aspectos ambientais significativos, entradas para novos processos). Este processo tem início na matéria-prima, tendo o seu fim no produto acabado, pronto a ser comercializado. A energia que circula em todo este processo apresenta a sigla “E”, estando o respectivo índice associado ao processo subjacente. O aspecto ambiental, apresenta a sigla “AA”, estando de igual forma o correspondente índice associado ao processo inerente.

4.3.2. Análise do consumo de energia

Nas Figuras 12, 13 e 14, encontra-se patente os fluxogramas dos processos de fabrico da recepção do pó, da ensilagem e da prensagem, sendo possível visualizar, para cada um dos processos, as entradas de materiais, as saídas, os aspectos ambientais inerentes, bem como a energia consumida nas fases de pré-ampliação e pós-ampliação. É de salientar um aumento de consumo de energia na fase de pós-ampliação.

a) Recepção do pó

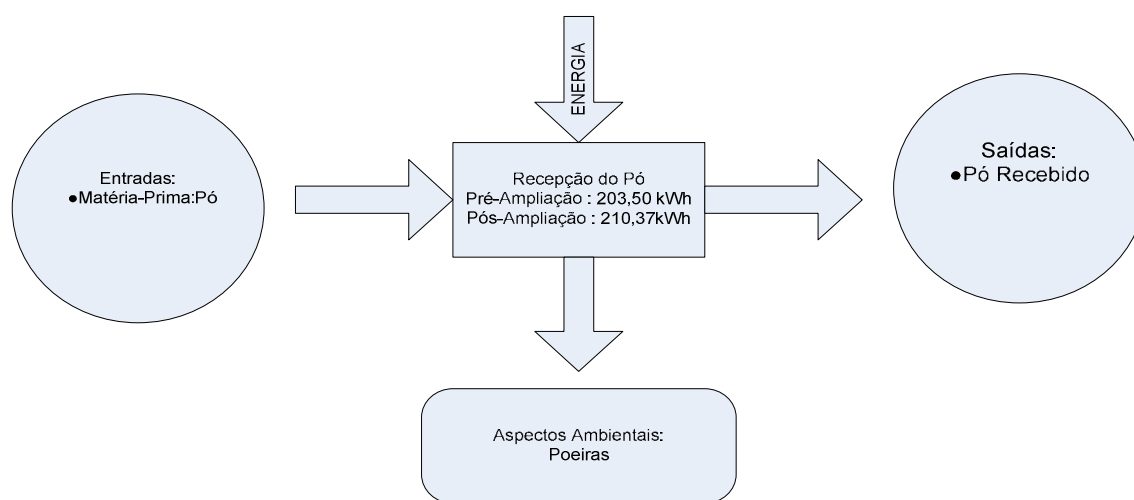


Figura 12. Fluxograma do processo de fabrico de recepção do pó

b) Ensilagem

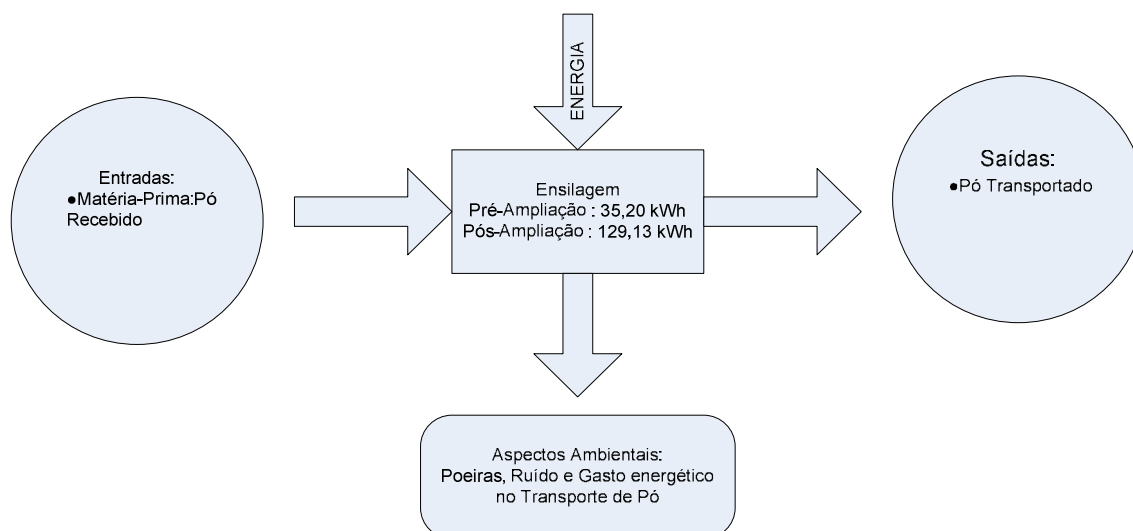


Figura 13. Fluxograma do processo de fabrico de ensilagem

c) Prensagem

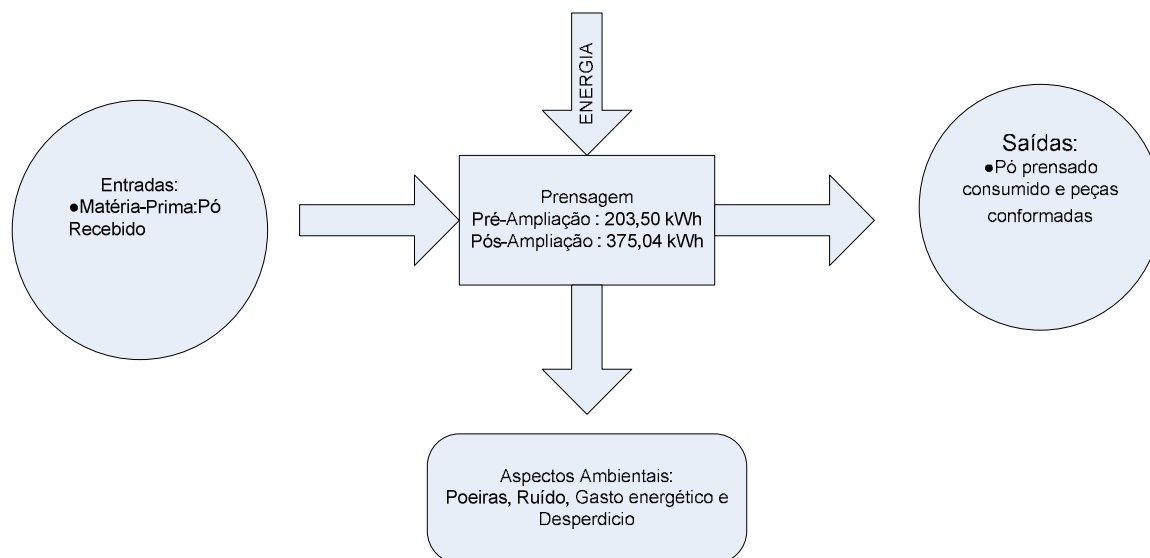


Figura 14. Fluxograma do processo de fabricação de prensagem

Da análise destes três fluxogramas (vide Figura 12, Figura 13 e Figura 14), verifica-se que na recepção do pó, na ensilagem e na prensagem ocorreu um aumento de consumo de energia eléctrica na fase de pós-ampliação. Na recepção de pó o incremento de consumo de energia eléctrica foi de 6,87 kWh. Já para a ensilagem, o incremento foi de 96,93 kWh, enquanto que na prensagem ocorreu um aumento de 171,54 kWh. O processo de maior incremento de consumo de energia eléctrica ocorreu na prensagem, seguido da ensilagem e, por último, na recepção de pó. Dos três processos de fabrico, aquele que possui um maior consumo de energia eléctrica ao longo do processo de pré e pós-ampliação é a prensagem, com valores de consumo de energia eléctrica que chegam a ser superiores aos 300 kWh. Seguidamente, é o processo de recepção de pó, que atinge valores de consumo de energia eléctrica acima dos 200 kWh. O processo com menor consumo de energia eléctrica é a ensilagem, que não ultrapassa os 140 kWh.

Também nas Figuras 15, 16 e 17 se encontra patente os fluxogramas dos processos de fabrico da secagem, das linhas de vidragem e do transporte de vagonas, sendo igualmente possível visualizar para cada um dos processos as entradas de materiais, as saídas, os aspectos ambientais inerentes, bem como a energia consumida nas fases de pré-ampliação e pós-ampliação, sendo de salientar o facto de que nestes processos de fabrico ocorrer um aumento de consumo de energia.

d) Secagem

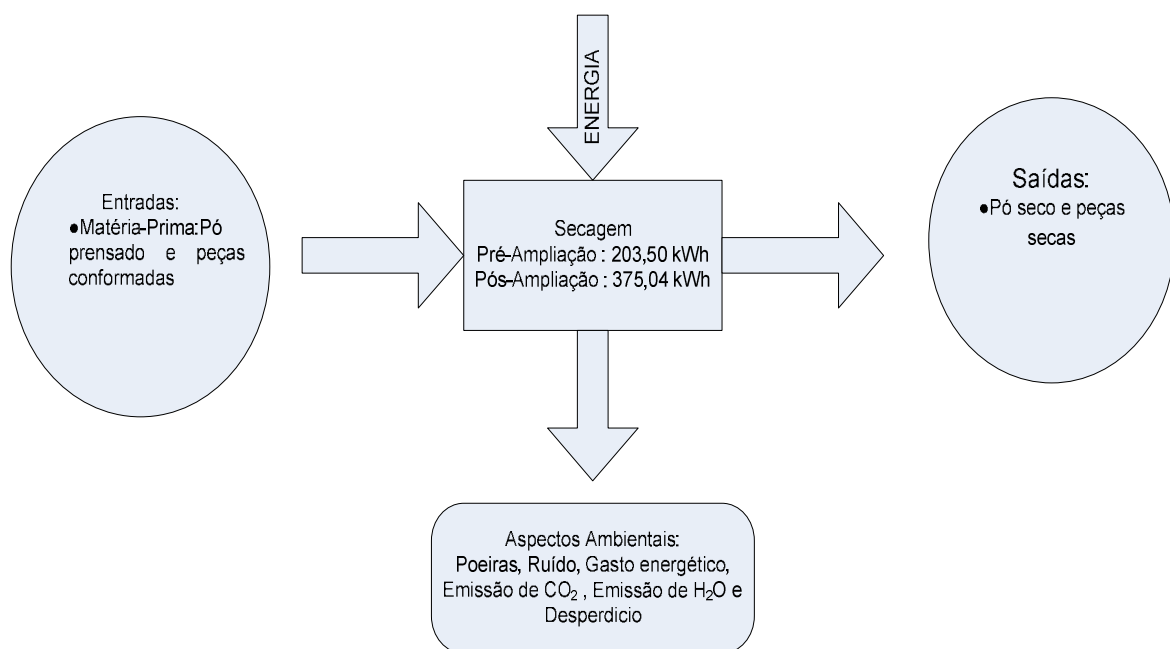


Figura 15. Fluxograma do processo de fabrico de secagem

e) Linhas de vidragem

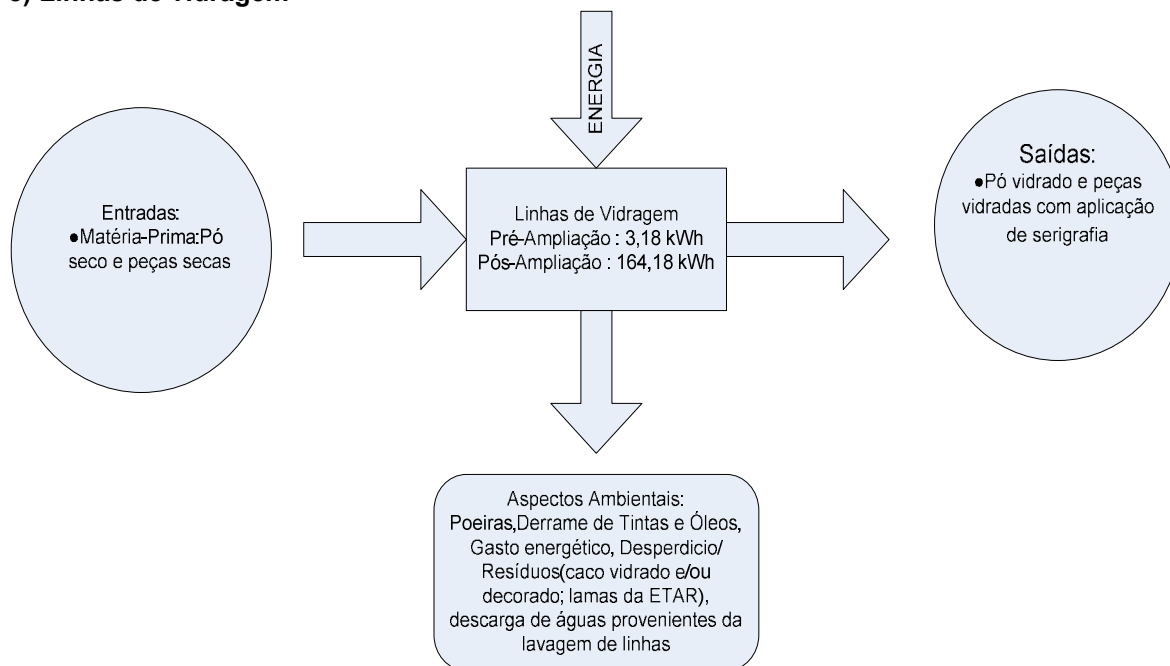


Figura 16. Fluxograma do processo de fabrico de linhas de vidragem

f) Vagonas (1)

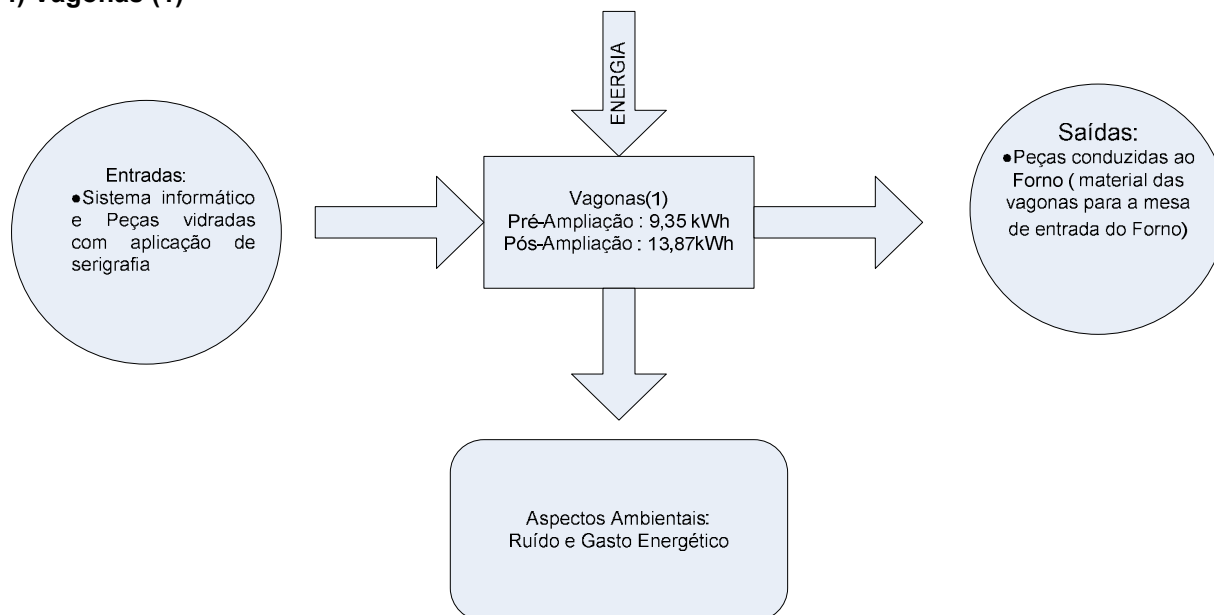


Figura 17. Fluxograma do processo de transporte de vagonas (1)

Da análise das Figura 15, Figura 16 e Figura 17, verifica-se que na secagem, nas linhas de vidragem e nas vagonas ocorreu um aumento de consumo de energia eléctrica na fase de pós-

ampliação. Na secagem, o incremento de consumo de energia eléctrica foi de 171,54 kWh, enquanto que nas linhas de vidragem, o incremento foi de 161,00 kWh, e nas vagonas ocorreu um aumento de 4,52 kWh. O processo de maior incremento de consumo de energia eléctrica ocorreu na secagem, seguido das linhas de vidragem e, por último das vagonas.

Dos três processos de fabrico, aquele que possui um maior consumo de energia eléctrica ao longo do processo de pré e pós-ampliação é a secagem, com valores de consumo de energia eléctrica que chegam a ser superiores aos 300 kWh. Seguidamente, é o processo das linhas de vidragem, que atinge valores de consumo de energia eléctrica acima dos 150 kWh. O processo, com menor consumo de energia eléctrica são as vagonas, que não ultrapassa os 14 kWh.

De igual forma, nas Figuras 18, 19 e 20 encontra-se patente os fluxogramas dos processos de cozedura, de transporte de vagonas e de escolha, cuja análise torna evidente, para cada um dos processos, as entradas de materiais, as saídas, os aspectos ambientais inerentes, bem como a energia consumida nas fases de pré-ampliação e pós-ampliação. É de salientar o facto de que, nestes processos de fabrico, ocorre novamente um aumento de consumo de energia.

g) Cozedura

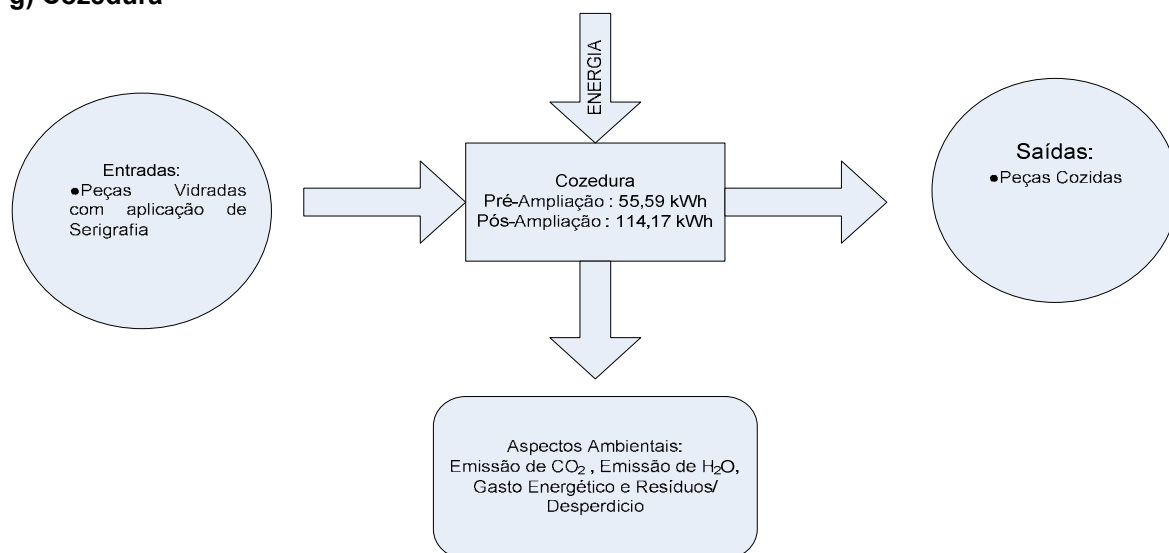


Figura 18. Fluxograma do processo de fabrico de cozedura

h) Vagonas (2)

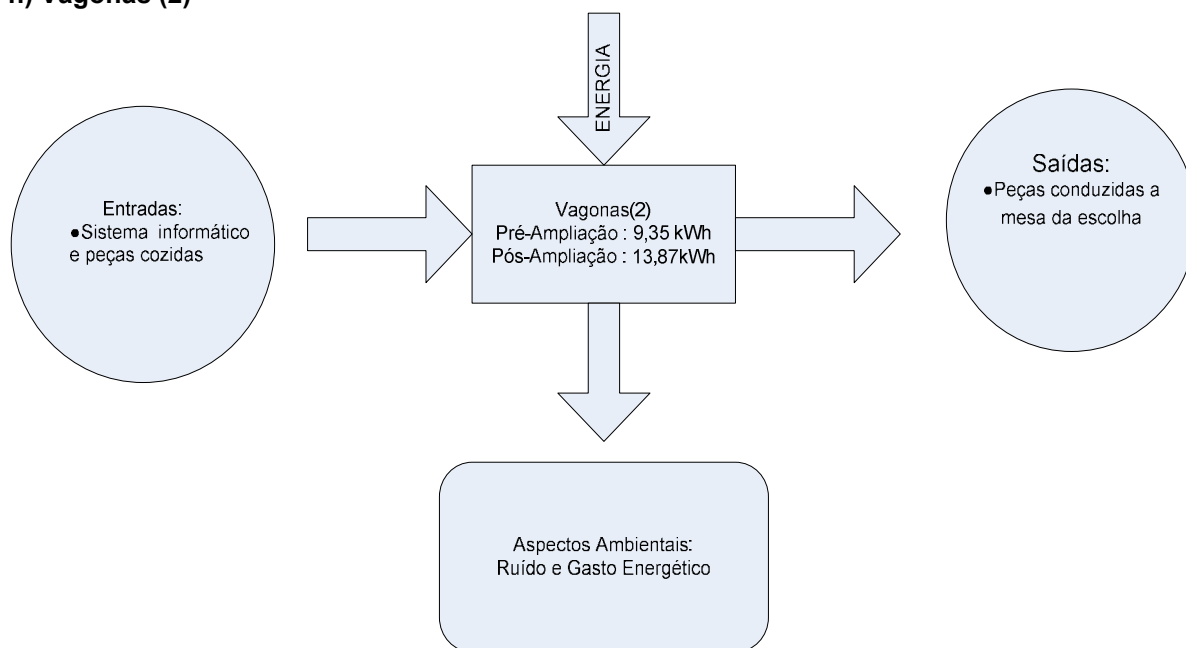


Figura 19. Fluxograma do processo de transporte de vagonas (2)

i) Escolha

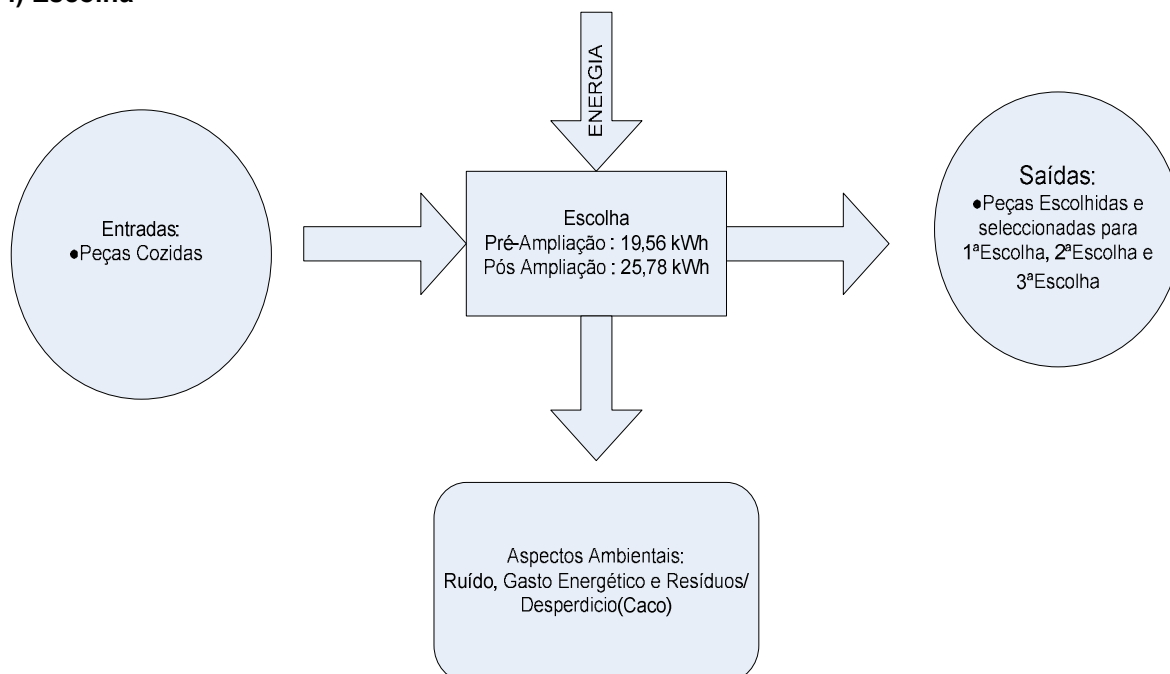


Figura 20. Fluxograma do processo de fabrico da escolha

Da análise das Figura 18, Figura 19 e Figura 20, verifica-se que na cozedura, na escolha e nas vagonas ocorreu um aumento de consumo de energia eléctrica na fase de pós-ampliação. Na cozedura o incremento de consumo de energia eléctrica foi de 59,58 kWh, enquanto que na escolha o incremento foi de 6,22 kWh e nas vagonas ocorreu um aumento de 4,52 kWh. O processo de maior incremento de consumo de energia eléctrica ocorreu na cozedura, seguido da escolha e, por último, as vagonas. Dos três processos de fabrico, aquele que possui um maior consumo de energia eléctrica ao longo do processo de pré e pós-ampliação, é a cozedura, com valores de consumo de energia eléctrica que chegam a ser superiores aos 110 kWh. Seguidamente, é o processo da escolha que atinge valores de consumo de energia eléctrica acima dos 20 kWh. O processo com menor consumo de energia eléctrica é o das vagonas, que não ultrapassa os 14 kWh.

Por último, nas Figuras 21 e 22 encontra-se patente os fluxogramas dos processos de fabrico da embalagem e armazenamento, sendo possível visualizar, para cada um dos processos, as entradas de materiais, as saídas, os aspectos ambientais inerentes, bem como a energia consumida nas fases de pré-ampliação e pós-ampliação. É de salientar o facto de que nestes processos de fabrico ocorre novamente um aumento de consumo de energia.

j) Embalagem

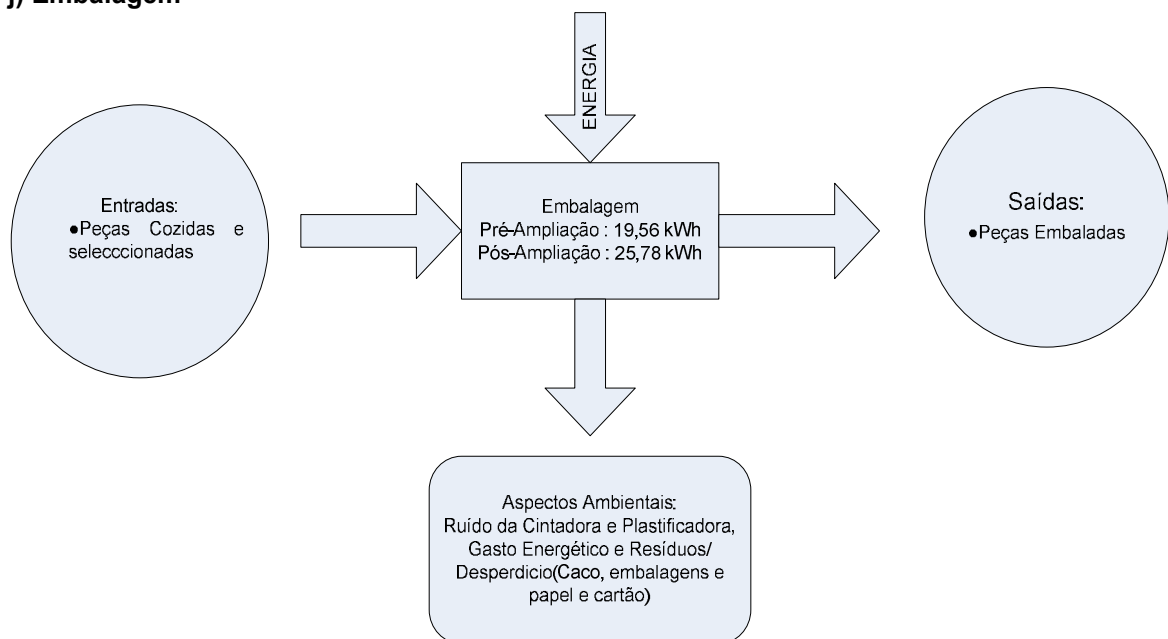


Figura 21. Fluxograma do processo de fabrico da embalagem

k) Armazenamento

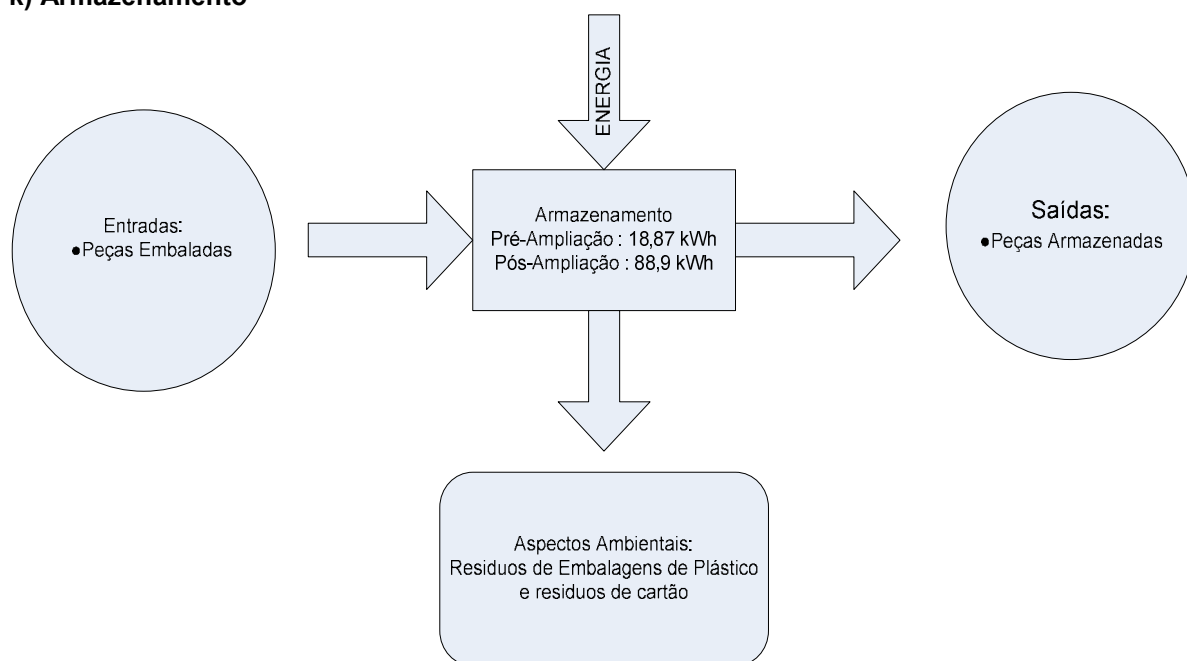


Figura 22. Fluxograma do processo de fabrico de armazenamento

Da análise das Figura 21 e Figura 22, verifica-se que na embalagem e no armazenamento ocorreu um aumento de consumo de energia eléctrica na fase de pós-ampliação. Na embalagem o incremento de consumo de energia eléctrica foi de 6,22 kWh enquanto que no armazenamento o incremento foi de 70,03 kWh. O processo de maior incremento de consumo de energia eléctrica ocorreu no armazenamento, seguido da embalagem. Dos dois processos de fabrico, aquele que possui um maior consumo de energia eléctrica ao longo do processo de pré e pós-ampliação é o armazenamento, com valores de consumo de energia eléctrica superiores aos 85 kWh. Seguidamente, é o processo de embalagem que atinge valores de consumo de energia eléctrica acima dos 20 kWh.

Comprova-se através da análise dos fluxogramas previamente apresentados e resultantes da aplicação do *software* UMBERTO que, de uma forma geral, ocorreu um acréscimo de consumo de energia eléctrica no processo produtivo cerâmico da unidade fabril estudo-de-caso aquando da respectiva ampliação. O *software* UMBERTO também permitiu visualizar as áreas (críticas) onde ocorreu um maior consumo de energia eléctrica, o que ficou a dever-se ao facto de a unidade fabril, ao ser ampliada em equipamentos, em máquinas, em meios humanos, em resíduos, etc., a fim de se conseguir um aumento da capacidade produtiva, ter passado a consumir mais energia.

Consegue-se também identificar os processos em que existe um maior consumo de energia eléctrica, nomeadamente, a recepção do pó, a ensilagem, a prensagem, a secagem e o forno. Os restantes apresentam também uma factura energética significativa, sendo contudo inferior à dos cinco processos acima descritos.

Na Tabela 13, apresenta-se um resumo de consumos de energia eléctrica, da unidade fabril nas fases de pré e pós-ampliação.

Tabela 13. Tabela resumo de consumos energéticos na unidade fabril no pré e pós-ampliação

Processos	Consumo de energia eléctrica	
	Pré-ampliação (kWh)	Pós-ampliação (kWh)
Recepção de pó	203,50	210,37
Ensilagem	35,20	129,13
Prensagem	203,50	375,05
Secagem	203,50	375,05
Transporte de vagonas (1)	9,35	13,87
Cozedura	55,59	114,17
Transporte de vagonas (1)	9,35	13,87
Escolha	19,56	25,78
Embalagem	19,56	25,78
Armazenagem	18,87	88,9

Como se pode observar na Tabela 13, de uma forma geral ocorreu um acréscimo de consumos energéticos em todos os processos produtivos, na passagem da pré-ampliação para a pós-ampliação (por exemplo, na ensilagem ocorreu um aumento de 93,93 kWh e na prensagem e na secagem o aumento foi de 171,55 kWh). Verifica-se ainda que os maiores consumos de energia se encontram na recepção do pó (203,5 kWh na pré-ampliação e 210,37 kWh na pós-ampliação), na prensagem (203,5 kWh na pré-ampliação e 375,05 kWh na pós-ampliação) e na secagem (203,5 kWh na pré-ampliação e 375,05 kWh na pós-ampliação).

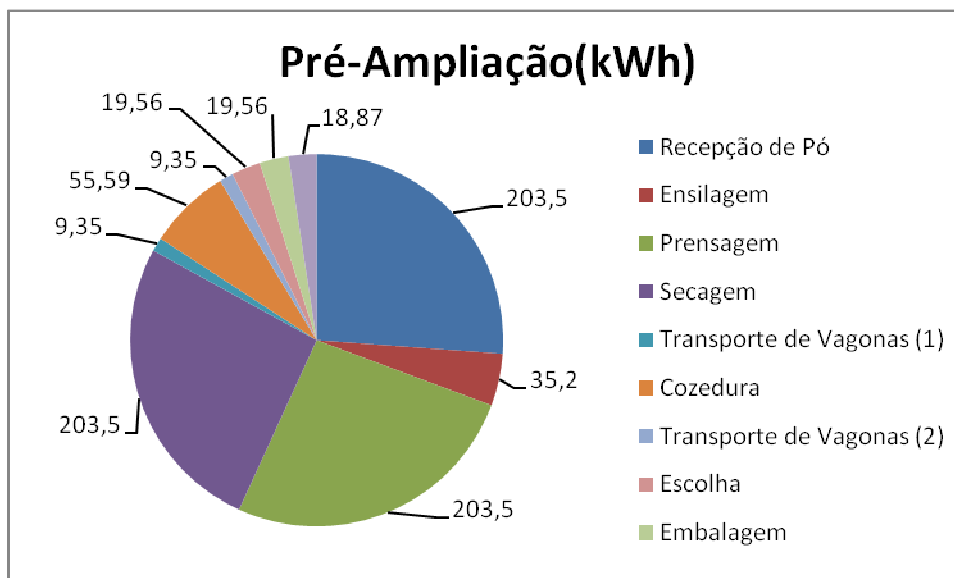


Figura 23. Gráfico UMBERTO de consumo de energia eléctrica por processo cerâmico na fase de pré-ampliação

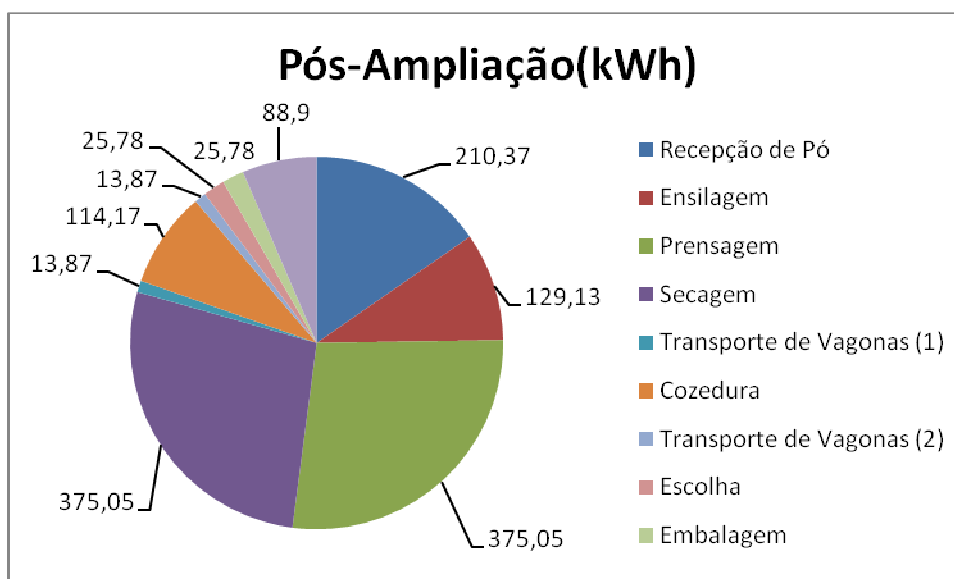


Figura 24. Gráfico UMBERTO de consumo de energia eléctrica por processo cerâmico na fase de pós-ampliação

A análise das Figuras 23 e 24 permite verificar que, tanto na fase de pré-ampliação como na fase de pós-ampliação, os sectores onde ocorre um maior consumo de energia eléctrica são a recepção de pó, a prensagem e a secagem. A cozedura também apresenta um consumo elevado

de energia eléctrica, mas inferior aos sectores de maior consumo previamente mencionados. Contudo o consumo de energia eléctrica na cozedura é inferior ao da ensilagem, que também constitui um sector de consumo energético razoável. Verifica-se ainda que, na passagem da pré-ampliação para a pós-ampliação, ocorreu um aumento de consumo de energia eléctrica, a nível de todos os sectores, sendo uns maiores do que outros (por exemplo, na escolha ocorreu um aumento de 6,22 kWh, enquanto que na prensagem ocorreu um aumento de 171,55 kWh).

Relativamente ao consumo específico de energia (energia consumida/ton material produzido), a Tabela 2 baseou-se no pressuposto de um aumento de produção de cerca de 5000 ton de 2006 para 2007. O valor de produção prevista para 2007 não foi fornecido pela empresa, tendo-se estimado um aumento de produção no primeiro ano de laboração após a ampliação. Assim, passar-se-ia de uma produção anual de 18331 ton de produto acabado/anual (2006), para uma produção de 23331 ton produto acabado/anual (2007). Esta estimativa já tem em conta algumas falhas iniciais, que podem advir do funcionamento das máquinas novas, bem como do novo processo produtivo de grês porcelânico.

No segundo ano, a produção anual iria possivelmente aumentar ainda mais, dado que as condições à partida, para sucesso do novo processo produtivo de grês porcelânico eram óptimas.

A maior incidência de consumos de energia eléctrica verificou-se ser nos sectores de recepção do pó, prensagem e secagem. Analisando o consumo específico dos três processos de maior consumo energético obtem-se valores de consumo específico para dados referentes à pré-ampliação de 610,5 kWh (prensagem + secagem + recepção do pó)/18331 ton de produto acabado, ou seja, de 0,033 kWh/ton e para dados referentes à pós-ampliação de 960,47 kWh (prensagem + secagem + recepção de pó)/23331 ton de produto acabado ou seja 0,041 kWh/ton.

Desta forma, pressupondo um aumento de produção de 5000 ton para 2007, verificou-se que ocorreria um aumento de consumo específico de 24 % na passagem da fase de pré-ampliação para a fase de pós-ampliação. Esta diferença de consumos específicos e consequente aumento na fase de ampliação pode advenir-se ao facto de que os motores/equipamentos instalados na unidade fabril na ampliação foram sobre-dimensionados para que num futuro próximo ocorresse aumento de produção significativa, sem

grandes alterações ao processo de fabrico actualmente instalado. Consequentemente, o aumento específico aumentou devido a este sobre-dimensionamento.

4.4. Síntese de Resultados obtidos e propostas de redução de consumos energéticos

Apesar de não se ter conseguido obter dados por parte da unidade fabril que permitissem efectuar os balanços mássicos, o *software* UMBERTO permitiu evidenciar pontos críticos de consumo de energia eléctrica aos quais deveriam de ser aplicadas acções correctivas/preventivas de optimização energética.

No entanto, através da aplicação do *software* UMBERTO, concluiu-se que o consumo de energia eléctrica da unidade fabril duplicou na fase de ampliação relativamente à fase de pré-ampliação. Tal facto deveu-se ao número de máquinas e equipamentos que, consequentemente, aumentaram a factura energética.

Na fase inicial, constatou-se que ocorreram áreas onde foram registadas maiores consumos de energia eléctrica, nomeadamente; a recepção de pó, a prensagem, a secagem e a cozedura. Estas áreas foram consideradas processos críticos. No entanto, após a ampliação, estes processos críticos continuaram a ter um elevado consumo de energia eléctrica, e que quase duplicou. Face a este significativo incremento de consumo de energia eléctrica, a unidade fabril considerada neste estudo-de-caso, poderá adoptar um plano de racionalização de energia, no qual irá adoptar algumas medidas de redução de consumos energéticos por processo crítico e que não se encontram implementadas.

As medidas sugeridas a adoptar para reduzir os consumos energéticos nos processos críticos da unidade fabril são as a que a seguir se encontram discriminadas. Contudo, há a salientar que estas sugestões não decorreram dos resultados previamente gerados pelo *software* UMBERTO mas sim da consulta bibliográfica e de opiniões apontadas pelos diversos técnicos da unidade fabril alvo de estudo-de-caso.

i) Recepção de Pó Atomizado

Na recepção de pó atomizado, a redução de consumo de energia eléctrica passará pela colocação de uma plataforma de cimento, que diminuirá a acção da gravidade aquando a recepção de pó nos respectivos silos e, consequentemente, diminuirá a movimentação de telas e consumo eléctrico associado às mesmas no transporte de pó até aos silos. Na concepção deste projecto de ampliação desta unidade fabril, houve um lapso por parte do construtor/projectista, uma vez que poder-se-ia ter optimizado a zona de recepção de pó atomizado através da sua construção num plano inclinado, que diminuiria a acção de gravidade aquando a descarga de pó e consequentemente ocorreria um menor dispêndio de energia eléctrica na movimentação das telas que transportam o pó para silos. Neste momento, nada resta a fazer, uma vez que as instalações já se encontram concebidas, e às quais investimentos deste tipo se tornam insuportáveis à empresa deste caso-de-estudo dado o enorme investimento realizado na fase de ampliação da mesma [Fonseca, 2000].

ii) Prensagem

No processo de prensagem, a redução do consumo de energia eléctrica seria a introdução da prensagem isostática, na qual a pressão aplicada compacta uniformemente o pó em todas as direcções, evitando desta forma gastos energéticos adicionais [Fonseca, 2000]. No entanto deve-se salientar que esta solução implica elevados investimentos e aos quais a unidade fabril do caso-de-estudo poderá não estar susceptível a implementação das mesmas.

Existem dois tipos de prensagem isostática: a frio e a quente. Na prensagem isostática a frio, o cerâmico (pré-forma ou pó) é colocado num molde flexível (geralmente de borracha), dentro de uma câmara com um fluido hidráulico ao qual é aplicada uma pressão isostática. A pressão aplicada compacta uniformemente o pó ou pré-forma em todas as direcções. Os pós são introduzidos por gravidade pela parte de cima do molde e comprimidos com Pressão de 20 atm a 40 GPa. [Fonseca, 2000].

Na prensagem isostática a quente (HIP – *Hot Isostatic Pressing*), é concebido melhores propriedades mecânicas e maiores densidades do que na sinterização sem pressão (*pressureless sintering*), ou somente por aplicação de pressão uniaxial (HP) [Fonseca, 2000].

iii) Secagem

Na secagem, a redução do consumo de energia eléctrica passaria pelo funcionamento dos secadores num espaço de tempo menor e mais concentrado, de forma a evitar gastos supérfluos de consumo de energia eléctrica adicional aquando a respectiva ligação eléctrica dos secadores. Uma outra medida a implementar seria a de reduzir a temperatura média dos secadores especialmente no período do verão (meses de verão de maior calor), que consequentemente evitaria mais uma vez gastos supérfluos de consumo de energia eléctrica dos secadores em períodos de temperatura do ar maior e humidade relativa do ar menor [Serra *et al.*, 2003].

iv) Cozedura

Na cozedura, a redução do consumo de energia eléctrica passaria por mais uma vez otimizar o tempo de funcionamento deste, ou seja, condensar o número de horas a trabalhar efectivamente, de forma a conseguir algumas paragens anuais do forno, bem como procurar manter uma temperatura constante e ligeiramente inferior ao necessário aquando em períodos de menor produção. No entanto, é de salientar o facto de que as paragens anuais do forno só fazem sentido por períodos longos de tempo de paragem, pois implica consequentemente um “arranque” do forno em que ocorre um elevado consumo de energia para conseguir atingir-se o poder calorífico ideal. Inerente a esta situação, salienta-se o facto de que quanto mais se parar o forno, maior será o consumo de energia calorífica; energia esta que não é alvo de estudo nesta tese de mestrado. [Campante e Seabra, 2002].

v) Outras soluções adicionais

Como solução adicional de redução de consumo de energia eléctrica, salienta-se o controlo da iluminação fabril, na qual procurar-se-ia por retirar o máximo partido da luz natural, utilizar lâmpadas de elevado rendimento (por exemplo, recorrendo a iódetos metálicos) e, por último, efectuar leituras de todos os medidores com alguma regularidade (quando a fábrica está parada, p.ex., aos fins-de-semana, feriados, férias, etc.) [Serra *et al.*, 2003]. Nenhuma das medidas sugeridas se encontra implementada, pelo que a respectiva aplicação seria um contributo positivo para aumentar a eficiência energética.

Outras medidas adicionais de redução de consumo de energia eléctrica da unidade fabril passariam pela formação e consciencialização de colaboradores, para que estes fossem sensibilizados para a redução de utilização de energia, ou até mesmo a não utilização da mesma; redução na utilização de ar condicionado, que diminui o consumo de energia eléctrica e consequentemente optimiza o sistema energético da unidade fabril, e por último cogeração da energia eléctrica, que aproveita a energia do sistema, utilizando-a em pequenas unidades fabris e optimizando o sistema [Fonseca, 2000].

Através das medidas anteriormente descritas, conseguir-se-ia melhorar do ponto de vista de consumo de energia eléctrica a unidade fabril considerada.

Capítulo 5
Conclusões

5. Conclusões

Com este estudo-de-caso pretendeu-se estudar a análise de consumos de energia eléctrica do processo produtivo de um dos subsectores da indústria cerâmica, através da aplicação de um programa informático específico de análise de fluxos de materiais e de energia (UMBERTO), a uma unidade fabril pertencente ao subsector. A adequabilidade deste programa tornou-se evidente uma vez que foi possível identificar duas situações distintas:

- identificação de zonas de maior consumo (críticas) de energia eléctrica na unidade fabril alvo de estudo-de-caso desta tese, na fase de pré e pós-ampliação;
- constatação de aumento de consumo específico de energia eléctrica na passagem da fase de pré-ampliação para a fase de pós-ampliação da unidade fabril.

Assim, os processos considerados críticos foram: secagem, prensagem e recepção do pó. Sobre estes três processos de maior ênfase neste estudo-de-caso deveria incidir medidas correctivas/de optimização energética, uma vez que constituem pontos críticos do processo produtivo de revestimentos e pavimentos cerâmicos, segundo a aplicação do *software* UMBERTO.

O aumento de consumo específico verificado na passagem da pré-ampliação para a fase de pós-ampliação pode dever-se ao facto de ter ocorrido sobre-dimensionamento dos motores/máquinas ao facto de ter ocorrido sobre-dimensionamento dos motores/máquinas na fase de pós-ampliação, por forma a que num futuro próximo a unidade fabril alvo de estudo desta tese de mestrado, possa sofrer um aumento de produção significativa, uma vez que já possui *à priori* as respectivas condições energéticas e infra-estruturas para o fazer.

Para este estudo de caso, apontam-se como propostas mais importantes e que permitem inferir na obtenção de uma racionalização de energia da unidade fabril, as seguintes:

- i) Na recepção de pó atomizado, colocação de uma plataforma de cimento;
- ii) No processo de prensagem, introdução da prensagem isostática;
- iii) Na secagem, funcionamento dos secadores num espaço de tempo menor e mais concentrado e redução da temperatura média dos secadores especialmente no período do verão (meses de verão de maior calor);

- iv) Na cozedura, optimização do tempo de funcionamento do forno através da redução do número de horas a trabalhar efectivamente, de forma a conseguir algumas paragens anuais do forno por períodos de tempo longos;
- v) Outras soluções adicionais, controlo da iluminação fabril; formação e consciencialização de colaboradores; redução na utilização de ar condicionado e por último cogeração da energia eléctrica.

Uma futura utilização do *software* UMBERTO em estudos-de-caso de optimização energética no sector de revestimentos e pavimentos cerâmicos, afigura-se interessante, uma vez que constitui uma ferramenta de identificação eficiente e eficaz de pontos críticos do processo produtivo, auxiliando na detecção desses mesmos pontos, de forma a aplicar acções correctivas e preventivas à posterior nos mesmos.

Bibliografia

Bibliografia

Allen, T. F. H., Giampietro M. e Little, A. M., "*Distinguishing ecological engineering from environmental engineering. Ecological Engineering*", v. 20, pp. 389 - 407 USA, 2003.

Almeida Silva, J. L., "Cenários para a Indústria Cerâmica do século XXI: um estudo de Prospectiva Estratégica", Estudo Apicer para PEDIP II, 2001.

Aster, "*Nuove Tecnologie Energetiche per L'Industria Cerâmica*", 1993.

Campante, H. e Seabra, A. M., "*Diagnóstico e Optimização de Operações e Processos: Parte I -Fornos Industriais*"; Revista KERAMICA nº 251, págs 26-36, Janeiro /Fevereiro de 2002.

Canmet Energy Technology Centre Varennes (CETC-Varennes), "*RET Screen International: results an Impacts*", Canada, 1996.

Centro para a Conservação da Energia, "*A eficiência energética no subsector da cerâmica*", PEDIP, Lisboa, 2007.

Charleston, R., "*World Ceramics*", Chart Well, Secancus, NJ, 1997.

Comissão Europeia, "*Energy saving in the Brick and Tile Industry*", ICI-OPET Network, Inglaterra, 1995.

Comissão Europeia, "*Energy saving methods in Ceramic Tiles Industry*", Institut Valencia de l'Energia-OPET Network, Inglaterra, 1993.

- Dogson, M., *"The Management of Technological Innovation: an International and Strategic Approach"*, Oxford University Press, New York, pp. 248, 2000.
- Elliot, R. N., *"American Council for Energy-Efficient Economy"*, August, 1997.
- Etsu, *"Energy Technology in the Ceramics Industry Sector"*, 1992.
- F. H. Norton, *"Fine Ceramics"*, Krieger, Malabar, FL, 1978.
- Fonseca, A. T., *"Tecnologia do Processamento Cerâmico"*, Universidade Aberta, 2000.
- Francisco, V. e Barata, *"Tecnologias de Informação e Comunicação"*, Coimbra – Workshop sobre Aplicações para a Indústria Cerâmica, Abril 2001.
- Furtado, J. S. e Furtado, M. C., *"Produção Limpa, in Contador, J.C. (coord.) Gestão de Operações. Fundação Vanzolini & Editora Edgard Blucher Ltda"*, São Paulo, pp. 317-329, 1997.
- Jackson, T., *"Clean Production Strategies"*, Lewis Publishers. USA, 1993.
- Kennedey, G. e Bowen, H., *"High-Tech Ceramics in Japan: current and future markets"*, Am.Ceram.Soc.Bull, 62(5), 590-596, 1983.
- Kingery, W., *"Social Needs and ceramic Technology"*, Am.Cer.Soc.Bull, 59(6), 598-660, 1980.
- Mc Colm, I. J., *"Special ceramics for modern application: which? Why? How? in Ceramic Processing"*, R.A. Terpstra, P.P.A. C.Pex e A.H. De Vries (eds), Chapman & Hall, Londres, pp.1-33, 1995.
- Meyer, U., Möller, A. e Rolf, A., *"Fortgeschrittene EDV-Unterstützung des ökologischen Stoffstrom-Managements. In: Fraunhofer-Institut Chemische Technologie (Hrsg.): Produzieren in der Kreislaufwirtschaft"*. S. 30.1-30.14, 1997.
- Möller, A., Häuslein, A. e Rolf, A., *"Öko-Controlling in Handelsunternehmen. Springer-Verlag Berlin/Heidelberg/New York Rautenstrauch, C. Betriebliche Umweltinformationssysteme. Grundlagen, Konzepte und Systeme"*, Springer-Verlag Berlin/Heidelberg/New York, 1997.
- Möller, A., *"Grundlagen stoffstrombasierter Betrieblicher Umweltinformationssysteme. Projekt-Verlag"*, Bochum, 2000.
- Möller, A., *"Stoffstromnetze. In: Hilty, L.M. et al. (Hg): Informatik für den Umweltschutz"*, Bd. II. Metropolis Verlag Marburg, pp. 223-230, 1994.

Möller, A., Häuslein, A. e Rolf, A., "*V. Foundations and Applications of computer based Material Flow Networks for Environmental Management in: Environmental Information Systems in Industry and Public Administration*", Page 8, Wohlgemuth, 2000.

Oliveira, J. e Fernando, "*Estabelecimento de Indicadores Energéticos de referência na Indústria Cerâmica*", CCE, Lisboa, 1998.

Pincus, A. G. , "*A critical compilation of Ceramic Forming Methods.1, General Introduction*", Am.Cer.Soc.Bull, vol.43(11), pp. 827-828, 1964.

Reed, J. S., "*Introduction to the principles of Ceramic Processing*", John Wile & Sons, New York, 1987.

Salt, D. L. e Holmes, W. A., "*Energy conservation: Thermal efficiencies of boilers*", The british ceramic Research Association – technical note nº240, Inglaterra, 1975.

S. Correia, "*Novas tecnologias na indústria cerâmica*", CTCV, Janeiro de 2000.

Schmidt, M., Schmidt, M. e Schorb, A., "*Stoffstromanalysen für Ökobilanzen und Öko-Audits*", Springer-Verlag Berlin/Heidelberg/New York, 1995.

Schmidt, M. e Häuslein, A., "*Ökobilanzierung mit Computerunterstützung. Produktbilanzen und betriebliche Bilanzen mit dem Programm Umberto*". Springer-Verlag Berlin/Heidelberg/New York, 1996.

Schmidt, M., Schmidt, M. e Schorb, A., "*Experiences with ecobalances and the development of an interactive software tool. In: Hilty*", L.M. et al. (Hrsg.): Informatik für den Umweltschutz. Bd. II. Metropolis Verlag Marburg. pp. 101-108, 1994.

Schmidt, M., "*Stoffstromanalysen als Basis für ein Umweltmanagementsystem im produzierenden Gewerbe. In: Haasis*", H.-D. et al. (Hrsg.): Umweltinformationssysteme in der Produktion. Metropolis Marburg. pp. 67-80, 1995.

Schmidt, M. e Häuslein, A., "*Environmental Material Flow Analysis by Network Approach. In: W. Geiger (Ed.): Informatique pour l'Environnement '97. Conference Européenne sur les*

Technologies de l'Information pour l'Environnement", Strasbourg. Vol. II. Metropolis Verlag Marburg, pp.. 769-779, 1997.

Schneider Electric, "Documento técnico: Guia técnico sobre materiais para instalações eléctricas, com guia normativo, conselhos práticos e aplicações", 2005.

Schneider Electric, "Documento técnico: A protecção das instalações eléctricas contra descargas atmosféricas. Guia técnico sobre protecção de instalações eléctricas contra descargas atmosféricas, conselhos práticos e aplicações", 1999.

Schwartzwalder, K. , Hench, L. e Junior, G., "*Processing Controls in Technical Ceramics*", cap. 2, *in* Ceramic Processing before firing", Wiley-Interscience, New York, 1978.

Serra, A. V. Freitas e V. P. Silva, J. A., "Manual de aplicação de revestimentos cerâmicos", 2003.

Silva, J., Cenários para a Indústria Cerâmica Portuguesa no século XXI: um estudo de prospectiva estratégica, *in* Avaliação Sectorial de indústria de Cerâmica para a formulação de estratégias em ambientes competitivos ", Edições Apicer, Coimbra, 2000.

Silva, J., "Indústria Cerâmica Portuguesa, que futuro? Conferência Internacional-Adap.", Cencal, Caldas da rainha, 1999.

Thurnauer, H., "*Development and use of electronic ceramics prior to 1945*", Am. Cer. Soc. Bull. , vol. 59, pp. 219-220, 224, 1977.

Valente, A., Gaspar, C. e Beleza, T., "O sector da cerâmica em Portugal", INOFOR-Instituto para a Inovação na Formação, 1ªedição, Lisboa, 2000.

LOCAIS CONSULTADOS NA INTERNET:

- <http://www.eficiencia-energetica.com/>;
- http://www.sebrae.com.br/br/programaseprojetos/programaseprojetos_1965.asp;
- <http://www.ncembt.org>;
- www.vanzolini.org.br/areas/desenvolvimento/producaolimpa;
- <http://www.erc.uic.edu/mozilla/index>;
- <http://www.abinee.org.br>;
- www.apicer.pt;
- www.schneiderelectric.pt;
- www.armstronginternational.com;
- www.retscreen.net;
- www.umberto.de;
- www.ifeu.de;
- www.ctcv.pt